

**Memorias de la XXIV
Reunión
Internacional
Acorbat 2024**



**Divulgación
en Plátanos
y Bananos**

**Volumen 1 • Número 1
Enero – Junio, 2024**

Revista de Tecnología y Ciencia / Journal of Technology and Science**Acorbat****XXIV REUNIÓN INTERNACIONAL**

23 al 25 de abril, 2024
Mérida, Yucatán, México

JUNTA DIRECTIVA INTERNACIONAL

Jaiver Danilo Sánchez, Presidente
Román Gomez Vaillard, Vicepresidente
Mary Carmen Yamamoto, Secretario
Mildred Cortés, Tesorero
Jorge Eliecer Hernández Rendón, Revisor Fiscal

COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Dr. Mario Orozco Santos, INIFAP, México
M.C. Sebastian Zapata Henao, AUGURA-CENIBANANO, Colombia
Dr. Rafael Segura Mena, CORBANA, Costa Rica
Dr. Daniel Gerardo Cayón Salinas, Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Dr. Jorge A. Sandoval Fernández, Universidad de Costa Rica, Costa Rica
M.C. Mauricio Guzmán Quesada, Cropland Biosciences, Costa Rica
Dr. Luc De Lapeyre De Bellaire, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique Pour le Développement (CIRAD), Francia
Dr. Miguel Ángel Dita Rodríguez, Alianza Bioversity-CIAT, Colombia

COMITÉ CIENTÍFICO LOCAL

Dr. Gustavo Mora Aguilera, Colegio de Postgraduados, México
Dr. Gilberto Manzo Sánchez, Universidad de Colima, México
Dr. Luciano Martínez Bolaños, Universidad Autónoma Chapingo, México
Dr. José Guadalupe Florencio Anastasio, Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, México
M.C. Miguel Angel Contreras, Consultor, México
M.C. José Orozco Romero, Consultor, México
Ing. Román Pacheco Gómez, Asociación agrícola de productores de plátano del soconusco, México
Dra. Blondy Canto Canché, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., México
Ing. Iván Merchant Cruz, Comité Nacional Sistema Producto Plátano A.C., México

EDITORES TÉCNICOS

Dra. Norma Ávila Alistac, UAM-X, México
Dr. Gustavo Mora Aguilera, COLPOS, México

COMPOSICIÓN WEB

M.C. Oscar Eder Flores Colorado, CP-LANREF, México

ÍNDICE

Descifrando la patogenicidad en el hongo causante de la Fusariosis del banano a través de la edición genética	1
Estado actual del mejoramiento genético en el cultivo del banano (<i>Musa</i> AAA, subgrupo Cavendish), y plátano (<i>Musa</i> AAB)	9
Mejoramiento genético tradicional optimizado de <i>Musa</i> spp. utilizando técnicas biotecnológicas	16
Evaluation de la stabilité des performances agronomiques de variétés élités de bananes desserts au sein d'une gamme d'environnements	22
Selección temprana de la resistencia a marchitez por <i>Fusarium</i> raza 1 en mutantes del cultivar 'Zanzibar' (Grupo AAB, <i>Musa</i> spp.)	30
Seed formation in banana (<i>Musa</i> spp.) in relation to time of year and environmental conditions in the Brazilian subtropics	37
Variabilidad espacial de propiedades fisicoquímicas en suelos bananeros de Urabá-Colombia	44
Consideraciones metodológicas para el muestreo de raíces en banano	52
Evaluation de différentes strategies de fertilisation organique pour restaurer la fertilité des sols dans les bananeraies antillaises	59
Efecto de dosis de nitrógeno sobre peso de racimo de banano y variables de crecimiento: Hacia uso eficiente del Nitrógeno	66
Efecto de la inclusión de la fertilización foliar dentro del manejo fitosanitario sobre parámetros del rendimiento de banano en Ecuador (2020 -2023)	75
Efecto de la aplicación foliar de zinc sobre la calidad del fruto del banano: la relación entre dosis y frecuencia de aporte en las épocas críticas de desarrollo del cultivo	84
Respuesta del pH a la incubación de enmiendas en suelos del Urabá	93
Coberturas vivas para recuperar y mantener la calidad y la salud del suelo en la producción de banano (<i>Musa</i> AAA)	100
Evaluación de pérdida de suelos en plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA) en la zona de Urabá, Colombia	108
Factores ecofisiológicos causantes de la aparición de agobio en banano (<i>Musa</i> AAA) indicar el cultivar en la zona de Urabá, Antioquia	116

Estimación de la diferenciación meristemática en banano (<i>Musa AAA</i>) a partir del cálculo del área foliar	131
Evaluación de prácticas para reducir excedentes y programar cosecha basado en la fisiología del banano Cavendish (<i>Musa AAA</i>) en Urabá	140
Aspectos metodológicos en estudios de técnicas de manejo del racimo de bananos y plátanos, sobre las variables de producción	148
Determinación del tiempo térmico para el cultivo de banano en la zona bananera de Urabá, Colombia	156
Aplicación de marcadores ISSR en la determinación de la similitud genética de <i>Pseudocercospora fijiensis</i>	167
New proposed of standard area diagram for assessing Black Sigatoka in bananas	173
Defoliation and leaf surgery for Sigatoka control in the subtropics	181
Does resistance host modify airborne spore dynamics and leaf infection? Case of Black Leaf Streak Disease	188
Designing innovative spatial strategies to control black leaf streak disease of banana through modelling approach	197
Evaluación de tecnología basada en RNAi para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano	202
La investigación básica y aplicada, como herramienta para el control de sigatoka negra (<i>Mycosphaerella fijiensis</i>) en el Soconusco, Chiapas, México.	209
Adavelt™ Active: a second generation picolinamide fungicide for use against black sigatoka disease on banana	216
Efecto de programas de fungicidas para el manejo de sigatoka negra (<i>Pseudocercospora fijiensis</i>)	223
Control of black leaf streak disease without mancozeb in commercial plantations of Ivory Coast	231
Efectividad de estrategias biorracionales con alternativas al mancozeb para el combate de sigatoka negra en el cultivo de banano	242
Incorporación semicomercial del fungicida botánico Pluviam 6 OL en el combate de Sigatoka negra (<i>Pseudocercospora fijiensis</i>) en banano, Costa Rica	252
Control de la severidad de sigatoka negra en banano con silicio en condiciones de campo	260
Contribución del silicio al crecimiento, rendimiento productivo y control de sigatoka negra en el cultivo de banano	269

Uso innovador de fungicidas cúpricos en el control de Sigatoka negra y su acumulación en plantaciones de banano	277
Cobres con tecnología de alta biodisponibilidad (HiBio) para control de Sigatoka en banano aplicados con dron y medición de dispersión	285
Aceite parafínico de origen renovable para el control de Sigatoka negra en plantaciones de bananas	293
Evaluación de Kata Spray Oil y Kata Control como coadyuvantes en el control de Sigatoka negra en micro leaf test	301
Validación de la técnica qPCR con sonda TaqMan para el diagnóstico de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> Raza 4 Tropical	310
A droplet digital PCR assay for the detection of <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> Tropical Race 4	318
Vigilancia dinámica de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> raza 4 tropical en México	326
Co-ocurrencia de <i>Fusarium</i> raza 4 tropical y pudrición blanda bacteriana en plantaciones de banano orgánico Cavendish en Piura, Perú	333
Epidemiología del marchitamiento por <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> raza 1 del banano Gros Michel (<i>Musa</i> AAA) y plátano Isla (<i>Musa</i> AAB)	339
Behavior and use of quaternary ammonium-based disinfectants in biosafety protocols against <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i> Race 1 and tropical Race 4	343
Evaluación de fungicidas para reducir la severidad de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> raza 1 en plantas de banano manzano	351
Potencial de <i>Melaleuca alternifolia</i> para el manejo de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> en plátano Manzano (<i>Musa</i> sp. Grupo AAB)	358
Tea tree oil induces activation of defense mechanisms against <i>Fusarium</i> wilt infection in cavendish banana – Screenhouse and field set-up	366
Eficacia de bioplaguicidas contra <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> R4T en banano bajo condiciones semi-controladas	376
Caracterización de la microbiota de suelos supresores y conductores a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>	383
Evaluación de aislados nativos de <i>Trichoderma</i> contra <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> Raza 1 y Raza 2 en México	390
Biocontrol potential of endophytic strains of <i>Trichoderma asperellum</i> against <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> , subtropical race 4	398

Antagonismo <i>in vitro</i> de <i>Trichoderma</i> spp. contra <i>Fusarium oxysporum</i> causante de marchitez en plátano (AAB)	404
Bioprospección de especies nativas de <i>Trichoderma</i> , como agente biocontrolador de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> Raza 4 Tropical (FocR4T)	412
Primer reporte de micovirus con actividad de hipovirulencia sobre <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> (Foc)	421
Formosana: variante somaclonal de alta tolerancia a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> Tropical Race 4	429
Susceptibilidad de plátanos de consumo tradicional en Colombia frente al marchitamiento de las musáceas provocado por Foc R4T	438
Actividad del metam sodio sobre aislamientos de <i>Ralstonia solanacearum</i> raza 2, agente causal de Moko en musáceas	446
Eficacia de Biomex Plus para el control de <i>Erwinia</i> y contención de Moko en el cultivo de Banano	455
Reducción de la tasa fotosintética en hojas de banano (<i>Musa</i> AAA cv Grande Naine) inoculadas con <i>Radopholus similis</i>	460
Control de <i>Radopholus similis</i> en banano (<i>Musa</i> AAA) en Chiapas, México	470
Vaniva® 45 SC con Tymirium® technology en el control del nematodo <i>Radopholus similis</i> en el cultivo de banano	479
<i>Bacillus methylotrophicus</i> en la sanidad radicular del cultivo de banano (<i>Musa paradisiaca</i>)	485
Effects of different levels of source-sink ratio on yield and susceptibility to crown rot in Cavendish banana plants	495
Evaluación de extracto de plantas de la familia Lamiaceae para la protección de la pudrición de la corona del banano	503
Uso de <i>Melaleuca alternifolia</i> para el manejo de pudrición de corona (<i>Colletotrichum musae</i> , <i>Fusarium verticillioides</i>) en postcosecha de banano	511
Evaluación de alternativas a base de feromonas como manejo alternativo del complejo de picudos de banano en Urabá, Colombia	518
Evaluación de alternativas químicas y orgánicas al herbicida glifosato para el control de maleza en el cultivo de banano	525
Biocontrol potential of endophytic strains of <i>Trichoderma asperellum</i> against <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> , subtropical race 4	532
Productividad y huella hídrica del banano ‘gran enano’ bajo niveles de riego y densidades de siembra	538

Uso eficiente del agua de riego en las plantaciones de banano (<i>Musa</i> AAA)	546
Niveles freáticos y su influencia sobre la fenología y desarrollo del cultivo de banano	554
Actividad fotoquímica y rendimiento del plátano (<i>Musa</i> AAB) en función de niveles de hidrogel y materiales de siembra	560
Efecto de coadyuvante a base de almidón de yuca en los procesos de maduración y pudrición de banano Cavendish	568
Propiedades fisicoquímicas y digestibilidad <i>In vitro</i> de harinas de bananos de cocción durante la maduración y el procesamiento	576
Evaluación de la influencia de productos en el agua de lavado en la severidad de antracnosis y calidad de bananos en postcosecha	584
Valoración de características fisicoquímicas del fruto del banano (<i>Musa</i> AAA), cultivado en altas densidades de plantación y arreglo poblacional	592
Desafíos del sector bananero y platanero en el contexto del siglo XXI	598
El reto del cambio climático para el sector bananero en América latina y el Caribe: arreglos institucionales para enfrentarlo	604
Mitigando el impacto climático en la industria bananera: la herramienta de medición de huellas de carbono y agua del foro mundial bananero de la FAO	608
Good practices and use of fertilizers to reduce the carbon footprint in the banana industry	612
Actualidades en el manejo integrado de sigatoka negra en banano	616
Situación actual del Moko bacteriano en Musáceas: Recomendaciones de manejo exitoso	523
Aislamiento, identificación molecular y diversidad genética de las cepas de <i>Ralstonia solanacearum</i> causantes del Moko bacteriano en banano en México	628
Plan de acción del gobierno de México ante la amenaza de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> Raza 4 Tropical y otras enfermedades emergentes de musáceas	635
Integrated management of FOC TR4 in bananas: The Philippine experience	643
Manejo integrado de la marchitez por <i>Fusarium</i> Raza 1: la experiencia brasileña	645
Amenazas fitosanitarias para la producción de musáceas en América Latina y el Caribe	650
Manejo integrado de plagas emergentes en bananos y plátanos	656
Innovación para la sostenibilidad: Una apuesta por la resiliencia de la industria agroalimentaria	660
Manejo de nutrición, agua y sostenibilidad del banano: La experiencia en Uraba, Colombia	664

Manejo de nutrición, agua y sostenibilidad de banano: la experiencia ecuatoriana	671
Manejo de nutrición, agua y sostenibilidad de bananos y plátanos: la experiencia mexicana	678
Estructura de producción y comercialización del banano y plátano en México	686
Mercado Internacional: Situación actual y perspectivas	691
Evolution of banana import rules into the European Union	696

Descifrando la patogenicidad en el hongo causante de la Fusariosis del banano a través de la edición genética

*Liliana Villao¹; Jeffrey Vargas¹; Nardy Diez^{1,2}; Efrén Santos^{1,2}; Freddy Magdama^{1,2}

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado Postal 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador. ²Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la Vida, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado Postal 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

*Autor de

Correspondencia:

Liliana Villao
lilevil@espol.edu.ec

Contribución:

Científica

Sección:

Biotecnología y ómicas

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Villao L, Vargas J, Santos E
y Magdama F. 2024.

Descifrando la
patogenicidad en el hongo
causante de la Fusariosis del

banano a través de la
edición genética. *Acorbat*

Revista de Tecnología y
Ciencia 1(1): 1

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2401](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2401)

RESUMEN

Ecuador es uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, razón por la cual es vital demostrar las garantías necesarias en cuanto al manejo adecuado de esta fruta. *Fusarium* tropical raza 4 (TR4), amenaza con desaparecer los cultivares Cavendish, por lo que esta investigación se centró en realizar el diseño de 2 sgRNA en el primer exón de la secuencia target en estudio, perteneciente a la familia de los genes SIX (Secreted In Xylem) y provocar una delección *in vitro* en la secuencia a través de la tecnología CRISPR Cas9, ya que se presume dicho gen está directamente asociado a la virulencia de *Fusarium* y otros hongos fitopatógenos.

Palabras clave: mal de Panamá, *Fusarium oxysporum*, edición genética, CRISPR Cas9, Biotecnología.

ABSTRACT

Ecuador is one of the main exporters of bananas worldwide, which is why it is crucial to demonstrate the necessary assurances regarding the proper handling of this fruit. *Fusarium* tropical race 4 (TR4) poses a threat to the disappearance of Cavendish cultivars. Therefore, this research focused on designing 2 sgRNA in the first exon of the target sequence under study, belonging to the SIX gene family (Secreted in Xylem), and inducing an *in vitro* deletion in the sequence through CRISPR Cas9 technology. This is because it is presumed that this gene is directly associated with the virulence of *Fusarium* and other phytopathogenic fungi.

Keywords: Panama disease, *Fusarium oxysporum*, gene editing, CRISPR Cas9, Biotechnology.



INTRODUCCIÓN

Estado actual del banano frente a TR4

El banano es una de las frutas con mayor demanda y producción a nivel mundial al cual enfrenta desafíos debido a la Fusariosis del banano, causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc). La variedad Cavendish, que representa el 40% de la oferta global, ha sufrido pérdidas significativas, afectando a los principales países productores (FAO, 2019).

La enfermedad, que se ha expandido a Colombia, Perú y Venezuela, amenaza especialmente a Ecuador, uno de los mayores exportadores. *Fusarium oxysporum*, un hongo cosmopolita, infecta las plantas a través del sistema radicular, obstruyendo el sistema vascular y afectando procesos vitales como la fotosíntesis. Esta problemática plantea la necesidad urgente de estrategias genéticas para abordar la resistencia a la Fusariosis (López-Zapata y Castaño-Zapata, 2019).

Evidencia reciente demuestra que *F. oxysporum* ha evolucionado complejos mecanismos para superar la inmunidad en plantas a través de la secreción de proteínas llamadas efectores dentro de la célula de la planta y entre todos los genes SIX identificados en Foc, el gen SIX9 está presente en todos los genotipos conocidos (Carvalhais et al., 2019). Estos hallazgos motivan la consideración del gen SIX9 como un prometedor candidato para estudios de funcionalidad, con el objetivo de evaluar su papel durante la infección en bananos mediante enfoques genéticos.

En los últimos años, se ha desarrollado la tecnología de edición genética conocida como CRISPR-Cas9, que utiliza el sistema de inmunidad adaptativa de microorganismos para realizar cortes específicos en el ADN. Esta técnica es altamente compatible con diversas especies, tanto procariontas como eucariotas. La proteína Cas9, fundamental en este proceso, puede ser modificada con una señal de localización nuclear, formando un complejo ribonucleoproteico (RNP) con el ARN guía. A diferencia de otros sistemas, el RNP no requiere procesos de traducción o transcripción, reduciendo el riesgo de introducir ADN extraño o variaciones genéticas en las plantas regeneradas (Woo et al., 2015).

La edición de genomas mediante complejos de ribonucleoproteínas permite una rápida y eficiente modificación genética, siendo degradada rápidamente por proteasas celulares tras la transfección (Sant'Ana et al., 2020). Por lo que, utilizando la tecnología de edición genética, el objetivo es encontrar genes de resistencia en accesiones silvestres de banano, ya que mejorarlos mediante cruce convencional es difícil debido

a su ploidía y baja fertilidad. Se busca determinar si los genes efectores, como los relacionados con Foc, confieren patogenicidad para mejorar los esfuerzos de mejoramiento.

En última instancia, la meta es lograr el mejoramiento genético de variedades como Cavendish o variedades resistentes, así como la edición directa del microorganismo causante de la Fusariosis, como una alternativa eficiente a largo plazo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento de cepas de *Fusarium oxysporum* raza 1

Para los ensayos de edición se utilizaron las cepas EC44-M-GM1 y O-1968, ambas caracterizadas como Foc (raza 1) y conservadas en el laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE).

Diseño *in silico* y síntesis del sgRNA

El sgRNA se diseñó utilizando el software Breaking-Cas (Juan C. Oliveros, n.d.), para lo cual se tomaron varios detalles en cuenta entre ellos la similitud del protoespaciador y la secuencia PAM en base al genoma de *Fusarium oxysporum*, para evitar cortes en otros locis y posibles efectos off-target, además se trató que el sitio de corte del sgRNA sea cercano a la región 5' mismo que codifica al gen de interés SIX9, el sgRNA está compuesto de 20 nucleótidos más la secuencia PAM (NGG), es decir en la región 5' se agregó la secuencia del promotor T7 (TTCTAATACGACTCACTATA) y al final de la región 3' una secuencia de solapamiento compuesta por 14 nucleótidos (GTTTTAGAGCTAGA).

Para el proceso de síntesis del sgRNA se utilizó el kit de EnGen® sgRNA Synthesis *S. pyogenes* kit (New England Biolabs #E3322). La reacción fue llevada a incubación durante 30 minutos a 37 °C, transcurrido este periodo se transfirieron las muestras al hielo. Adicionalmente se realizó un tratamiento con DNasas añadiendo 30 µL de agua ultrapura y 2 µL de Dnase I, se incubó la reacción durante 15 minutos más a 37 °C, al finalizar las muestras fueron analizadas mediante un gel de agarosa al 1.5% en TAE 1X.

Purificación de la proteína CAS9

Para este estudio, se empleó el plásmido pHis-parallel1-NLSHBCas9 (9761 pb) de Addgene, que contiene una señal de localización nuclear (NLS) de la histona H2B

de *Fusarium oxysporum* fusionada a el promotor y terminador T7, en la cepa de *E. coli* Dh5alpha.

El vector se cultivó en medio LB sólido con ampicilina (100 µg/mL) a 37 °C durante 24 horas, y la presencia del gen de interés se confirmó mediante PCR con cebadores específicos. Para lograr una alta concentración de la proteína Cas9, se diluyó el medio LB líquido 1:100, y se indujo con IPTG (0.3 mM) cuando la densidad óptica alcanzó aproximadamente 0.6 Unidades. Tras 5 horas de incubación a temperatura ambiente y 160 rpm, se evaluó la expresión mediante SDS-PAGE. La purificación de la proteína se llevó a cabo utilizando cartuchos cromatográficos HisPur™ Ni-NTA (Thermo Fisher Scientific, 88221), seguida de dialización y centrifugación para eliminar las proteínas no asociadas. Este proceso garantizó la obtención de una preparación purificada de la proteína Cas9, lista para su implementación en estudios de edición genética y otras aplicaciones científicas relacionadas.

Producción de protoplastos de *Fusarium oxysporum*

Para generar protoplastos, se inoculó medio líquido PDB con aproximadamente 1×10^7 conidios de *Fusarium*, incubándolos a 28 °C y 160 rpm durante la noche. Tras la germinación, las esporas se recolectaron y se trataron con Driselasa (10mg/mL) en NaCl 0.7M para degradar la pared celular durante 3 horas. La suspensión se incubó a temperatura ambiente durante dos horas en un agitador rotatorio, los protoplastos obtenidos se filtraron con una malla de nylon de 40 µm. Tras dos lavados en la suspensión SuTC, los protoplastos se diluyeron en el buffer estabilizador SuTC a 2×10^7 /mL. Para cada experimento de transformación, se utilizaron 200 mL de la solución de protoplastos (Liu and Friesen, 2012).

Transformación fúngica mediada por PEG

Se preparó simultáneamente la proteína CAS9 y el ARN guía (sgRNA) en una relación molar 1:1, totalizando 50 µL, con solución tampón nucleasa Cas9 10x y agua tratada con DEPC. Esta mezcla se incubó a 37 °C durante 20 minutos. Para la transformación, se combinaron 200 µL de protoplastos con 50 µL de Cas9 RNPs (donante) o ADN, más un volumen igual de PEG al 60%, incubando a temperatura ambiente durante 20 minutos. El producto se transfirió a un tubo con medio selectivo TB3 y se agitó a 160 rpm a temperatura ambiente durante 24 horas. Los protoplastos regenerados se mezclaron con medio selectivo y se transfirieron a placas Petri estériles para secuenciación posterior.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Purificación de la proteína Cas9

El plásmido de expresión Phis-parallel1-NLSH2BCas9 se clonó en la cepa BL21 Rosetta de *E. coli* (Figura1) para la expresión y purificación de la proteína Cas9. La proteína resultante de la purificación tenía un tamaño aproximado de 165kDa (Figura 2).

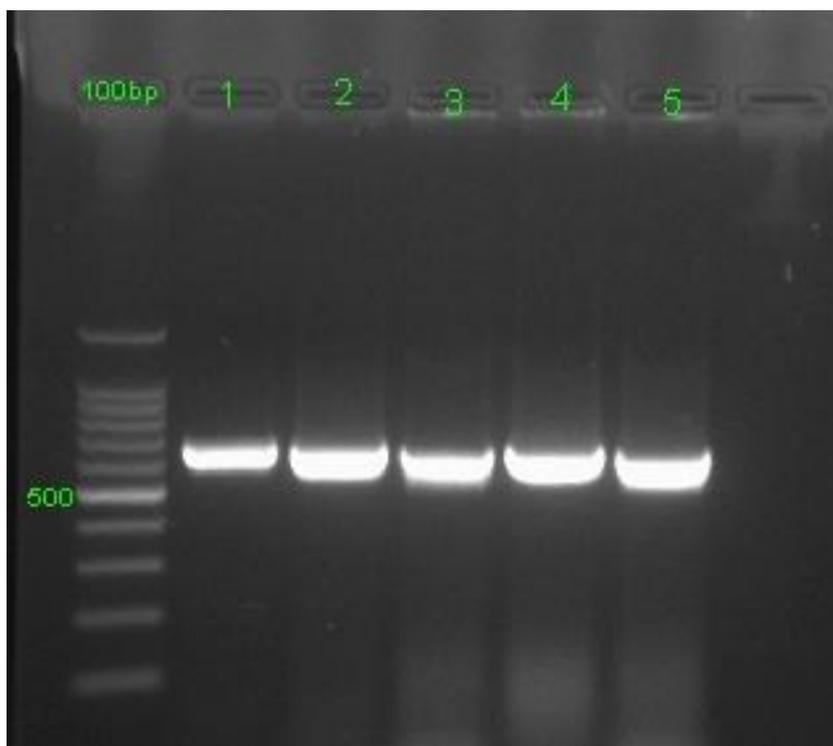


Figura 1. Resultado obtenido de la PCR de colonias *E. coli* para confirmar la presencia de la región Cas9 en un gel de agarosa en medio TAE 1X al 1.2%, para lo cual se utilizaron cebadores específicos del gen de interés y un marcador de peso molecular 100bp, las bandas corresponden al amplicón esperado de 652bp.

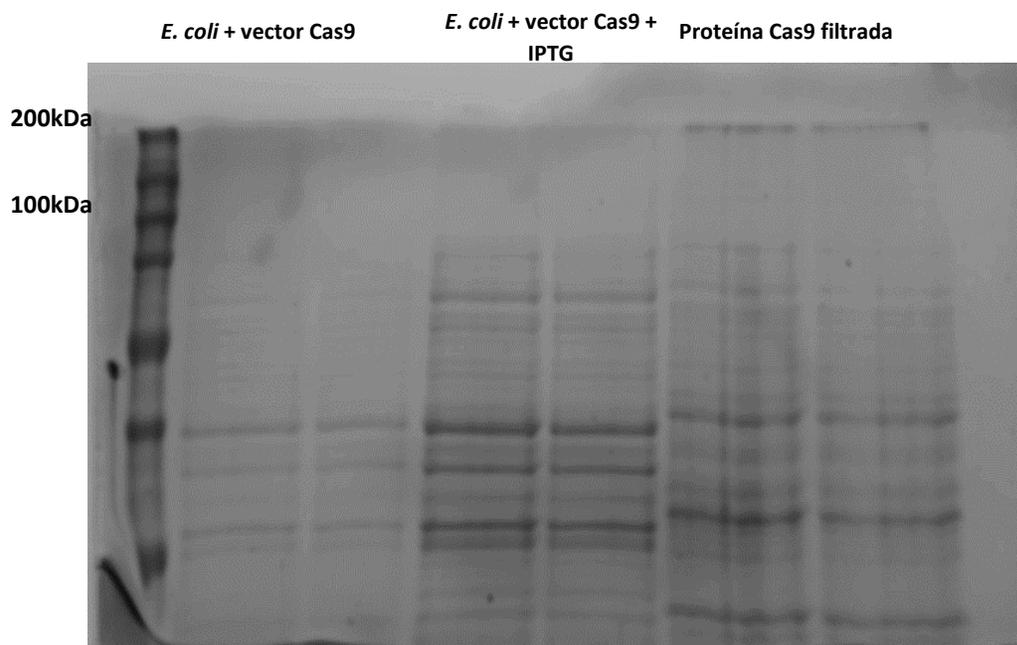


Figura 2. Gel SDS page 5 mL 12% con las muestras del vector Cas 9 (pocillo 2-3) vector cas9 con IPTG (4-5) proteína Cas9 filtrada, colocadas por duplicado con 15 μ L de muestra más el buffer de carga.

Transformación de protoplastos mediada por PEG

El ARN guía generado por medio del software Breaking Cas, estaba dirigido a la región cercana 5' del gen de interés (efector SIX9), con el fin de realizar un bloqueo de esta región y validar la eficacia de la técnica, así como conocer el posible funcionamiento de este efector a partir de protoplastos de *Fusarium oxysporum* raza 1 (Figura 3).

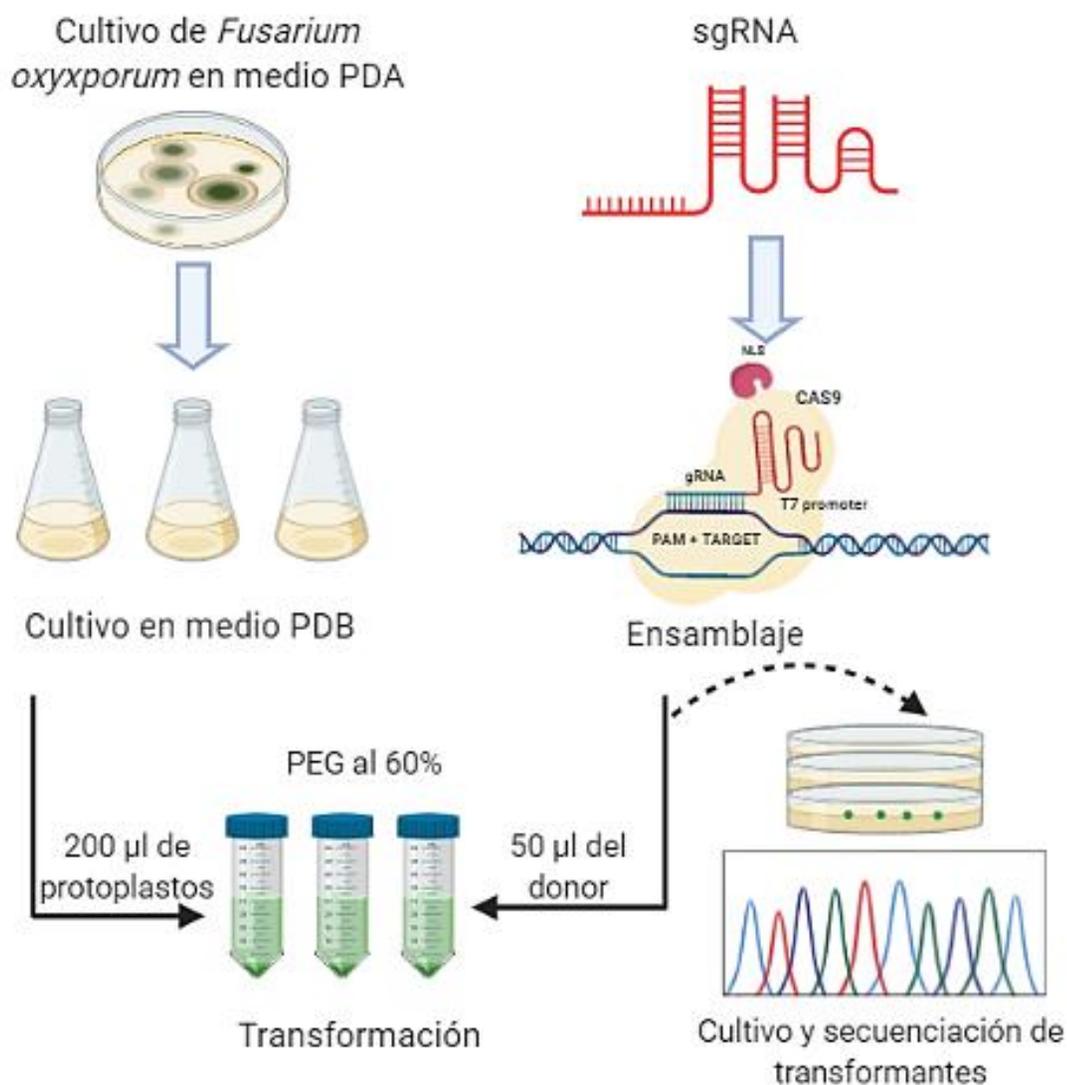


Figura 3. Esquema de la transformación con protoplastos mediadas por PEG dirigida por CAS9-RPN, para lo cual se realizó un cultivo de las muestras de *Fusarium* en medio PDB, de las cuales se utilizaron 200 µL con PEG al 60% y 50 µL del donador (Cas9 ensamblada).

CONCLUSIONES

Las ribonucleoproteínas (RNP) de CRISPR han demostrado ser una estrategia altamente eficaz para la mutagénesis dirigida en protoplastos. Este método exhibe ventajas significativas sobre la edición del genoma mediante plásmidos, mostrando

mayor eficiencia, reducción considerable de efectos fuera del objetivo y una velocidad de edición más rápida en diversos microorganismos.

Un beneficio adicional es su potencial cumplimiento con regulaciones sobre organismos genéticamente modificados (OGM), ya que los complejos ARN guía-proteína Cas9 se desintegran rápidamente en cultivos celulares en regeneración o mediante la segregación. Se necesitan más investigaciones para optimizar el genotipado de microorganismos editados, sin ADN residual, y llevar estas aplicaciones al ámbito agrícola.

REFERENCIAS

1. Carvalhais, L.C., Henderson, J., Rincon-Florez, V.A., O'Dwyer, C., Czislawski, E., Aitken, E.A.B., Drenth, A., 2019. Molecular Diagnostics of Banana Fusarium Wilt Targeting Secreted-in-Xylem Genes. *Front Plant Sci* 10, 547. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00547>
2. FAO, 2019. Analisis Del Mercado Del Banano 1–13.
3. Juan C. Oliveros, M.F.D.T.-M.D.S.-L.L.M.P.C. and F.P., n.d. Breaking-Cas: off-targets-free gRNAs for CRISPR/Cas technology [WWW Document]. URL https://bioinfofp.cnb.csic.es/tools/breakingcas/?gset=4x2_GENOMES_EnsemblGenomes_47 (accessed 8.1.20).
4. Liu, Z., Friesen, T.L., 2012. Polyethylene glycol (PEG)-Mediated transformation in filamentous fungal pathogens. *Methods in Molecular Biology* 835, 365–375. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-501-5_21
5. López-Zapata, S.P., Castaño-Zapata, J., 2019. Manejo integrado del mal de Panamá [*Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. *cubense* (E.F. SM.) W.C. Snyder & H.N. Hansen]: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1240>
6. Sant'Ana, R.R.A., Caprestano, C.A., Nodari, R.O., Agapito-Tenfen, S.Z., 2020. PEG-Delivered CRISPR-Cas9 Ribonucleoproteins System for Gene-Editing Screening of Maize Protoplasts. *Genes (Basel)*. <https://doi.org/10.3390/genes11091029>
7. Woo, J.W., Kim, J., Kwon, S. Il, Corvalán, C., Cho, S.W., Kim, H., Kim, S.G., Kim, S.T., Choe, S., Kim, J.S., 2015. DNA-free genome editing in plants with preassembled CRISPR-Cas9 ribonucleoproteins. *Nature Biotechnology* 33, 1162–1164. <https://doi.org/10.1038/nbt.3389>

Estado actual del mejoramiento genético en el cultivo del banano (*Musa* AAA, subgrupo *Cavendish*), y plátano (*Musa* AAB)

Jéssika P. Torres S^{1*}; Jorge A. Sandoval F²; Rafael Segura³

¹Supervisora de investigaciones Corporación Bananera Nacional (CORBANA); ²Consultor independiente internacional en banano;
³Director de Investigaciones CORBANA.

*Autor de

Correspondencia:

Jéssika P. Torres S
jetorres@corbana.co.cr

Contribución:

Científica

Sección:

Recursos Genéticos y
mejoramiento

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Torres SJP, Sandoval FJA y
Segura R. 2024. Estado
actual del mejoramiento
genético en el cultivo del
banano (*Musa* AAA,
subgrupo *Cavendish*), y
plátano (*Musa* AAB).

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
2

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2402](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2402)

RESUMEN

Se presenta información técnica y científica sobre el mejoramiento genético clásico y biotecnológico, aplicado a bananos y plátanos (*Musa* AA, BB, AAA, AAB). El objetivo de este estudio fue realizar una investigación de revisión crítica de literatura sobre el estado actual del mejoramiento genético de las musáceas. Enfermedades como la Sigatoka negra, la Fusariosis del banano, el Virus Bunchy Top del Banano (BBTV), y aspectos abióticos, han generado un interés creciente de trabajo en los programas de mejoramiento a nivel mundial. La evidencia histórica confirma que el mejoramiento en *Musa* no ha sido fácil. El trabajo con tipos de banano Cavendish es aún más difícil, pero actualmente se considera que no es imposible. En la actualidad, existen resultados incipientes, promisorios y avanzados, esto con base en la aplicación de la mejora genética clásica y biotecnológica.

Palabras clave: Bunchy Top, *Fusarium*, *Musa*, Resistencia genética, Sigatoka, Genética.

ABSTRACT

Technical and scientific information is presented on classical and biotechnological genetic improvement, applied to bananas and plantains (*Musa* AA, BB, AAA, AAB). The objective of this study was to carry out a critical literature review on the current state of genetic improvement of Musaceae. Diseases like Black Leaf Streak, Banana fusariosis, Banana Bunchy Top Virus (BBTV), and abiotic aspects, have generated a growing interest of work in the main breeding programs worldwide. Genetic improvement in *Musa* has not been easy; historical evidence confirms it. Working with Cavendish types of bananas is even more difficult but is currently considered that this is not impossible. Nowadays, there are incipient, promising, and advanced results, based in the application of classical breeding programs and biotechnological.

Keywords: Bunchy Top, *Fusarium*, Genetic Resistance, *Musa*, Sigatoka, Genetic.



INTRODUCCIÓN

Entre los principales factores bióticos que limitan la productividad del cultivo de banano, se encuentran enfermedades como la Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*), enfermedad del Moko (*Ralstonia solanacearum* Raza 2), la Fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1 y Raza 4 tropical Foc R4T) y el Virus Bunchy Top (BBTV) (Orozco *et al.* 2008). El Foc R4T continúa avanzado en Asia, Oceanía, y África y de manera reciente se comprobó la presencia en el continente americano, específicamente en Colombia en el año 2019, en Perú en el año 2021, y posteriormente, en Venezuela en el año 2023 (Martínez *et al.* 2023).

La historia del mejoramiento genético en musáceas alcanza más de 100 años de arduo trabajo, este se ha realizado con la finalidad de obtener plantas resistentes a plagas y enfermedades, y con mejores adaptaciones a las limitantes abióticas. Con lo cual se busca, además, reunir características agronómicas que favorezcan la producción, la seguridad alimentaria de poblaciones locales, y la obtención de productos de calidad de exportación. Del mismo modo, es una herramienta para resolver problemas que no logran ser controlados con ningún otro tipo de manejo, como los que podría estar generando la variabilidad y el cambio climático.

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue realizar una amplia investigación bibliográfica sobre el estado actual del mejoramiento genético del banano (*Musa* AAA) Subgrupo Cavendish y el plátano (*Musa* AAB). Esto con la finalidad de disponer de un documento clave y básico para los investigadores en el cultivo de banano, con el acervo de conocimiento que ha significado el historial del mejoramiento genético y así tener mejor criterio científico para la toma de decisiones en los planes de acción y pasos a seguir por entidades dedicadas a trabajar la mejora genética de esta importante planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se llevó a cabo mediante la consulta crítica y detallada de literatura científica física y digital, abordando los temas de la historia del mejoramiento genético desde sus inicios, la importancia que representa, las ventajas que genera el uso de material vegetal con resistencia a enfermedades, las limitaciones que presenta el mejoramiento genético convencional y biotecnológico, los desafíos que se enfrentan en el proceso de mejora, los programas de mejoramiento alrededor del mundo y algunos casos de éxito recientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mejoramiento genético en banano vio sus inicios producto de la necesidad de desarrollar alternativas ante la amenaza de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1. Por lo que el Colegio Imperial de Agricultura Tropical en Trinidad (ICTA) en 1922, fue el primer programa de mejoramiento genético en esta planta, el cual, años después trabajó en conjunto con la United Fruit Company de Honduras, y, posteriormente, fue transferido a la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) en 1984. Otros programas de mejoramiento genético han sido llevados a cabo por diferentes instituciones a lo largo del tiempo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Programas de mejoramiento genético en banano a nivel mundial, 2023.

Programas de mejoramiento
1. Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), Honduras.
2. Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria y el Centro Nacional de Investigación en Yuca y Fruticultura Tropical (EMBRAPA-CNPMF), Brasil.
3. Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo y el Departamento de Producción Hortofrutícola (CIRAD-FLHOR), Isla Guadalupe, Francia.
4. La Universidad de Tecnología de Queensland (QUT), Australia.
5. Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), Nigeria.
6. Organización Internacional de Energía Atómica, Austria.
7. Tropic Biosciences, Reino Unido.
8. KeyGene, Estados Unidos.
9. Academia de Ciencias Agrícolas de Guangdong (GDAAS), China.
10. El Instituto de Investigación del Banano de Taiwán (TBRI), Taiwán.
11. Centro Regional de Investigaciones sobre Bananos y Plátanos (CARBAP), Camerún.
12. Centro Nacional de Investigación del Banano (NRBC), India.

Algunos de los principales desafíos que enfrenta el mejoramiento genético convencional son: la partenocarpia, la necesidad de realizar alta cantidad de polinizaciones, la baja producción de semillas, la baja fertilidad femenina, la presencia de ploidía, las semillas recalcitrantes, la obtención de resultados a más largo plazo, la necesidad de personal capacitado y los altos costos del proceso (Vignesh *et al.*, 2020). Debido a estas limitantes, muchos investigadores han implementado otras estrategias tecnológicas como: la inducción física y química de mutaciones, la variación somaclonal, la transgénesis, las cisgénesis, el uso de marcadores moleculares y la edición genética o de precisión. Las cuales se han utilizado de forma individual, o como complemento del mejoramiento convencional, para el desarrollo de híbridos mejorados de una manera rápida y eficiente. Para efectos de este análisis, se presentan a continuación (Cuadro 2) ejemplos de casos exitosos producto del mejoramiento genético en banano y plátano.

El mejoramiento genético del banano y plátano se convierte en una necesidad prioritaria para el sector productivo, considerando la exigente demanda de los mercados en la disminución del uso de agroquímicos, así como las amenazas bióticas y abióticas que enfrenta el cultivo.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, materiales como los diploides mejorados con resistencia al Foc R4T y a la Sigatoka negra, representan actualmente un importante avance para los programas de mejoramiento genético, en la búsqueda de híbridos que cumplan con los requisitos agronómicos, productivos y de mercado que se exigen actualmente. Asimismo, el uso de las diferentes herramientas biotecnológicas y su complemento con el mejoramiento convencional, sugieren nuevos panoramas para enfrentar las principales limitantes que enfrenta el sector agrícola bananero. Por lo cual, se destaca la necesidad en la búsqueda de herramientas que permitan educar a los consumidores hacia un mercado más diversificado que favorezca la producción sostenible de banano y plátano.

CONCLUSIONES

Este tipo de trabajo es una necesidad considerando la problemática que representan enfermedades como Foc R4T, la Sigatoka negra y el Moko, así como de otras emergentes que podrían surgir considerando factores como el cambio en las condiciones climáticas y de manejo del cultivo.

El mejoramiento convencional en el cultivo de banano y plátano se ha realizado desde hace más de 100 años (1922-2023), por lo que el conocimiento, y las bases científicas con las que hoy en día se cuenta son una valiosa experiencia acumulada, y una de sus principales ventajas.

Cuadro 2. Tipos diploides, triploides y tetraploides, y sus resultados producto del mejoramiento genético.

Cultivar	Genoma	Característica	Programa de mejoramiento	Referencia
M53	AA	Resistencia a Foc R4T	EMBRAPA	Amorim <i>et al.</i> (2021).
SH-3142	AA	Resistencia a Foc R4T	FHIA	Mintoff <i>et al.</i> (2020).
FHIA 25	AAB	Resistencia a Sigatoka negra, Foc R4T y BBTV	FHIA	Martínez <i>et al.</i> (2020).
CIRAD 931	AAA	Resistencia a Foc R1 y Foc R4T	CIRAD	Bakry <i>et al.</i> (2021).
'Formosana'	AAA	Resistencia intermedia al Foc R4T	TBRI	Hou <i>et al.</i> (2022).
'Tai-Chiao No. 5' (TC5)	AAA	Resistente al Foc R4T		
'Tai-Chiao No. 7' (TC7)	AAA	Resistente al Foc R4T		
Pei Chiao	AAA	Resistente al Foc R4T	TBRI	López <i>et al.</i> (2020).
Virupakshi	AAB	Resistente a BBTV.	NRCB	
QCAV-4	AAA	Resistente al Foc R4T	QUT	Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2023.
Resistant GAL	AAA	Resistente al Foc R4T	Rahan Meristem	
FHIA 2	AAAA	Resistencia a Sigatoka negra y Foc R4T	FHIA	Martínez <i>et al.</i> (2020).
Pacovan Ken	AAAB	Resistencia a Foc R1, Sigatoka negra y amarilla	EMBRAPA	Amorim <i>et al.</i> (2021).

Un resultado contundente de este trabajo, es que los diploides mejorados son la clave para el desarrollo de híbridos superiores y resistentes a plagas y enfermedades. Se destaca que el uso de herramientas biotecnológicas ha permitido el desarrollo de plantas de banano con resistencia a las principales enfermedades que afectan el cultivo de banano. Por lo que se recomienda la complementariedad entre el mejoramiento genético clásico convencional y el biotecnológico, para mejor desempeño de los programas.

Es necesario un arduo trabajo de aceptación y percepción pública de los nuevos productos del mejoramiento genético. Asimismo, se requiere una fuerte estrategia para dar a conocer a la opinión pública el valor agregado que poseen otros tipos de bananos ya existentes en la naturaleza y/o mejorados genéticamente. Su diversidad abarca diferentes tamaños, sabores, aromas, colores, contenidos nutricionales y otros beneficios afines.

Es necesario fortalecer la cooperación y alianza entre las diversas instituciones y países con producción local y de exportación de banano y plátano, así como dar seguimiento a los avances en el desarrollo de los diferentes programas de mejoramiento genético alrededor del mundo. El mejoramiento genético es una tarea que debe continuar y desarrollarse como una coevolución con los constantes desafíos que enfrentan estos cultivos.

REFERENCIAS

1. Amorin E.; De Oliveira, A.; Santos Silva, M.; Haddad, F.; Fortes, C.; Santos Serejo, J. 2021. Developing hybrid banana varieties with improved properties. Kema, G; Drenth, A. (ed). Burleigh Dodds Science Publishing Limited. Pp. 1-14. doi.org/10.19103/AS.2020.0070.16.
2. Bakry, F. Horry, K. Jenny C. 2021. Making bananas breeding more effective. In. Achieving sustainable cultivation of bananas. Vol. 2. Germplasm and genetic improvement. Kema, G.; Drenth, A. (eds). Burleigh Dodds Science Publishing. Pp. 1-39. <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2020.0070.12>.
3. Hou, B; Tsai, Y; Chiang, M; Tsao, S; Huang, S; Chao, C; Chen, H. 2022. Cultivar-specific markers, mutations, and chimerism of Cavendish banana somaclonal variants resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4. *BMC Genomics*, 23(1). <http://10.1186/s12864-022-08692-5>.
4. López, J; Ordoñez, E; González, L. 2020. Complementación de Bananas Conventional Breeding Programs Through Biotechnological Genetic Improvement. *Agricultural, Forestry and Bioindustry Biotechnology and Biodiscovery*. Pp. 25-50.
5. Martínez, G; Rey, J; Pargas, R; Manzanilla, E. 2020. Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía Mesoamericana*. 31 (1): Pp. 259-276.
6. Martínez, G; Olivares, B; Rey, J., Rojas, J., Cardenas, J., Muentes, C., Dawson, C. 2023. The Advance of *Fusarium* Wilt Tropical Race 4 in Musaceae of Latin America and the Caribbean: Current Situation. *Pathogens*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/pathogens12020277>.
7. Mintoff, S.; Cullen, D.; Kelly, Ch.; Piggott, M. 2020. Plant Crop results from the latest TR4 screening trial in the NT. *Australian Bananas Magazine*. Pp. 20-21.

8. Orozco, M; Orozco, J; Pérez, O; Manzo, G; Farías, J; Da Silva, W. 2008. Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*. Vol. 33. No 3: Pp. 189-196.
9. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (SENASICA). 2023. Referencia de materiales vegetales tolerantes a *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* Raza 4 Tropical (Foc R4T). Pp. 1-17.
https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/octubre/MaterialesTolerantesFocR4T_7b94277e-fa36-4a3a-8a3d-3645a9bce495.pdf. Consultado el 07 de diciembre del 2023.
10. Vignesh, B; Backiyarani, S; Chandrasekar, A; Saranya, S; Ramajayam, D; Saraswathi, M; Durai, P; Kalpana, S; Uma, S. 2020. Strengthening of banana breeding through data digitalization. Oxford University. Pp. 1-6.

Mejoramiento genético tradicional optimizado de *Musa* spp. utilizando técnicas biotecnológicas

Josue Ortega^{1*}, Blanca Moreno¹, Antonio Mena¹, Suresh Prabhakaran², Liana Nice²

¹Nature Source Improved Plants División *In vitro*, Rancho el Rocío sn, Cantón el Carmen, frontera Hidalgo Chiapas, México.

²Nature Source Improved Plants División Genetics, 95 Brown St. Ste 1036, Ithaca Nueva York, Estados Unidos de América.

*Autor de

Correspondencia:

Josue Ortega
jortega@nsiplants.com

Contribución:

Científica

Sección:

Recursos Genéticos y
mejoramiento

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

15 Abril, 2024

Cita:

Ortega J, Moreno B, Mena
A, Prabhakaran S y Nice L.
2024. Mejoramiento
genético tradicional
optimizado de *Musa* spp.
utilizando técnicas
biotecnológicas. *Acorbat
Revista de Tecnología y
Ciencia* 1(1): 03
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2403](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2403)



RESUMEN

NSIP es un importante proveedor de plantas *In vitro* para la producción industrial bananera en América Latina. NSIP está desarrollando un programa optimizado de mejoramiento genético para apoyar a la industria bananera actual, restableciendo al banano como un cultivo híbrido. NSIP está buscando diversidad genética natural existente en los progenitores de Cavendish para desarrollar nuevas variedades de banano. El programa tiene como objetivo crear una mejora continua de rasgos importantes relacionados con la productividad, así como tolerancia a *Fusarium oxysporum* TR4. NSIP utilizará tecnologías analíticas de mejoramiento avanzado, así como una amplia experiencia en propagación *In vitro*, para ayudar a crear soluciones ante la amenaza que representa esta enfermedad.

Palabras Clave: Mejoramiento genético optimizado, cultivo de tejidos vegetales, *Fusarium oxysporum* TR4, Genética.

ABSTRACT

Nature Source Improved Plants (NSIP) is a company dedicated to providing optimized plant breeding and *in vitro* propagation services to companies with presence in the seed and food industry. NSIP is a major supplier of *in vitro* planting materials to the Latin American banana production industry. To further support the banana industry, NSIP is developing an optimized banana breeding program. This program enables banana genetic improvement by reinventing banana as a hybrid crop. To do this, NSIP is accessing the natural genetic diversity existing in the progenitors of Cavendish to develop new banana varieties. The program aims to create continuous improvement for important traits related to field productivity and tolerance to *Fusarium oxysporum* TR4. NSIP will utilize advanced analytical and breeding technologies, as well as extensive experience *in vitro* propagation, to help create solutions to the threat posed by *Fusarium oxysporum* TR4.

Keywords: Optimized Breeding, Plant tissue culture, *Fusarium oxysporum* TR4, Genetic.

INTRODUCCIÓN

Los Bananos (*Musa* spp.) son un importante cultivo alimentario básico para cientos de millones de personas en el mundo (FAOSTAT, 2023). México produce alrededor de 2,4 millones de toneladas que se exportan a diferentes destinos comerciales como Estados Unidos. Chiapas es el estado con el mayor volumen de la producción nacional generando de manera permanente muchos empleos directos e indirectos en los productores de la zona (SIAP, 202). Se estima, que del 20-30% de las plantas sembradas en la región del Soconusco Chiapas provienen de plántulas *In vitro* producidas por NSIP (dato interno). La principal ventaja para el productor bananero es que las plantas *In vitro* son de alto valor fitosanitario debido a que están libres de enfermedades de tipo bacteriano, fúngico y viral. Las plantas obtenidas por este sistema son réplicas exactas entre sí y fieles copias de la planta progenitora. Además, el número de individuos obtenidos por este método es muy superior al obtenido por cualquier otro método de propagación, por unidad de propágulo (Hasnain *et al.*, 2022).

Actualmente, la variedad Cavendish se ha convertido en la más consumida y exportada, representando casi la mitad de todas las variedades cultivadas en todo el mundo y casi el 100% de los plátanos frescos comercializados internacionalmente (FAOSTAT, 2023). La planta de banano es estéril, por lo que solo puede replicarse plantando raíces o esquejes de plantas existentes, lo que resulta en muy poca o ninguna diversidad genética en las plantaciones de banano (Reay, 2019); esto la hace vulnerable a plagas y enfermedades (Villao *et al.*, 2019).

Fusarium oxysporum f.sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Foc R4T) es un hongo patógeno considerado como una de las plagas más destructivas de las musáceas, misma que ha provocado la desaparición de miles de hectáreas de cultivo de banano en países productores del mundo. Foc R4T ha sido detectado recientemente en Colombia y Perú (Chen *et al.*, 2019). Su dispersión en América Latina es una amenaza potencial para el sector bananero de México debido a que ocasionaría una gran afectación en la producción y exportación de este cultivo causando un impacto social, así como cuantiosas pérdidas económicas en las zonas productoras (SENASICA, 2023; FAOSTAT, 2023).

Una alternativa para mejorar el cultivo del banano es el cruzamiento interespecífico de parentales elite con distintos niveles de ploidía (Villao *et al.*, 2019). Esta estrategia es utilizada en un amplio intervalo de cultivos para favorecer la compatibilidad meiótica entre plantas (Heslop-Harrison *et al.*, 2023). Los híbridos obtenidos de este tipo de cruza generalmente presentan mayor vigor híbrido, frutos

con mejores características, resistencia a plagas y enfermedades, así como características nuevas no observables en los fenotipos parentales (Li *et al.*, 2021).

Por otra parte, un factor clave en el mejoramiento de banano es la caracterización del número de cromosomas de los parentales e híbridos con el objetivo de corroborar el nivel de ploidía y el estado híbrido de las plantas (Heslop-Harrison *et al.*, 2023). En las plantas se emplean distintas metodologías para el estudio de los cromosomas, que van desde las técnicas moleculares hasta el uso de métodos clásicos como el cariotipo, siendo este la única comprobación exacta de los niveles de ploidía en el germoplasma de *Musa* (Dolezel *et al.*, 1998).

Debido a lo anterior, NSIP empresa líder en biotecnología Vegetal con divisiones en Nueva York, Estados Unidos y Chiapas, México, ha combinado de manera única los campos de genómica, investigación operativa y matemáticas avanzadas para desarrollar mejoramiento genético rápido y eficiente de distintos cultivos, entre ellos el banano. NSIP también aplica tecnologías de optimización a la producción vegetal y es uno de los mayores productores de plantas *In vitro* (incluido el banano) para producción comercial en América Latina.

En mayo de 2022, NSIP y la Asociación Agrícola de Productores de Plátano del Soconusco (AAPPS) formaron una alianza para la aplicación de tecnologías de mejoramiento genético que permita obtener híbridos de banano con rasgos deseables relacionados a la producción y resistencia a enfermedades. Durante el 2023, NSIP ha identificado un conjunto clave de germoplasma de banano (diploides y tetraploides) proveniente de diferentes partes del mundo. Posteriormente, estos parentales serán usados para realizar cruza con el objetivo de establecer el programa de mejoramiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El programa comprende tres etapas importantes para su desarrollo:

Primera etapa: Uso de los algoritmos de NSIP para la optimización y selección de los parentales sobresalientes para hacer grupos de mejoramiento genético, el establecimiento *In vitro* de los parentales, así como el desarrollo de una metodología para cuantificar el número de cromosomas en bananos con diferente nivel de ploidía.

Segunda etapa: Esta etapa se divide en la optimización de cruzas para desarrollar nueva variación genética en banano, así como en la propagación *In vitro* de estos materiales para establecerlos en campo.

Tercera etapa: Establecimiento en campo de las nuevas variedades potenciales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante mencionar que el programa de mejoramiento genético se encuentra en sus primeros pasos de desarrollo. No obstante, los alcances obtenidos establecerán la base para futuros esfuerzos de mejoramiento, que incluye la identificación de germoplasma, el desarrollo de nuevos híbridos, además de la producción *In vitro* a larga escala de plantas de banano para su establecimiento en campo de manera experimental y posteriormente comercial.

Los alcances obtenidos respecto a la primera etapa de la investigación se muestran a continuación. Se identificaron variedades de banano con diferente distanciamiento genético y con características agronómicas de interés comercial similares a Cavendish y Gros Michel además de tolerancia o resistencia a Foc R4T. Chen *et al.* (2019) mencionan que la optimización y selección del germoplasma en un programa de mejoramiento genético de banano es un aspecto crucial para el desarrollo de variedades más resistentes, productivas y adaptadas a distintas condiciones ambientales. Nuestro estudio genético incluyó datos genómicos de accesiones provenientes de diferentes partes del mundo para su uso en el programa de mejoramiento genético.

Con base en los resultados anteriores, se han obtenido y propagado variedades de Banano en el laboratorio de investigación y desarrollo de NSIP. Los resultados logrados hasta ahora respaldan los esfuerzos para propagar material *In vitro* de los parentales a usar en los cruzamientos con el objetivo de generar nuevas variedades híbridas de banano.

Durante el 2023, se han realizado los primeros alcances en la estandarización de la técnica que nos permita cuantificar el número de cromosomas en plantas de Banano. Para esto, se han utilizado diferentes plantas control y técnicas que han permitido visualizar y cuantificar directamente cromosomas en un microscopio óptico.

CONCLUSIONES

La optimización y el mejoramiento predictivo son herramientas poderosas para utilizar de manera objetiva la diversidad mundial de bananos y mejorar el cultivo. NSIP utilizando el conjunto de tecnologías puede abordar las necesidades actuales de diseño existentes y novedosas para el cultivo.

El programa de mejoramiento genético de banano iniciado por NSIP representa un emocionante comienzo en la búsqueda de soluciones innovadoras para fortalecer la industria bananera. Es fundamental reconocer que, en la actualidad, el programa se encuentra en sus primeros pasos de desarrollo. Aunque aún en una fase incipiente, sus perspectivas ofrecen un potencial significativo para mejorar la resistencia, calidad agronómica y rendimiento de las variedades de banano.

A medida que avanza este proyecto, se espera que la colaboración entre investigadores, agricultores y comunidades siga siendo crucial para garantizar el éxito a largo plazo. La anticipación de resultados prometedores destaca la importancia de seguir respaldando y monitoreando este programa, con la esperanza de que sus avances puedan contribuir de manera significativa a la sostenibilidad y el progreso de la industria bananera.

REFERENCIAS

1. Chen A, Sun J, Matthews A, Armas-Egas L, Chen N, Hamill S, Mintoff S, Tran-Nguyen LTT, Batley J, Aitken EAB. 2019. Assessing variations in host resistance to *Fusarium oxysporum* f sp. *cubense* Race 4 in *Musa* species, with a focus on the subtropical race 4. *Frontiers in Microbiology* 10: 1-13.
2. Dolezel, J.; Dolezelova, M. y Roux, N. 1998. A novel method to prepare slides for high resolution chromosome studies in *Musa* spp. *Infomusa* 7:3-4.
3. FAOSTAT. 2023. <https://www.fao.org/faostat/>. Consulta el 13 de octubre del 2023.
4. Hasnain A, Naqvi SAH, Ayesha SI, Khalid F, Ellahi M, Iqbal S, Hassan MZ, Abbas A, Adamski R, Markowska D, Baazeem A, Mustafa G, Moustafa M, Hasan ME, Abdelhamid MMA. 2022. Plants in vitro propagation with its applications in food, pharmaceuticals, and cosmetic industries; current scenario and future approaches. *Frontiers in Plant Science* 13:1-21.
5. Heslop-Harrison J, Schwarzacher T, Liu Q. 2023. Polyploidy: its consequences and enabling role in plant diversification and evolution. *Annals of Botany* 131:1-10.
6. Li M, Ding N, Lu T, Zhao J, Wang Z, Jiang P, Li L. 2021. Evolutionary contribution of duplicated genes to genome evolution in the ginseng species complex. *Genome Biology and Evolution* 13:1-13.

7. Reay D. 2019. Climate-smart bananas. In D. Reay (Eds.), *Climate-smart food*. Springer International Publishing. Edinburgh, Reino Unido, pp. 81–91.
8. SENASICA. 2023. https://dj.senasica.gob.mx/AtlasSanitario/storymaps/foc_r4t.html. Consulta el 17 de octubre del 2023.
9. SIAP 2022. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consulta el 16 de octubre del 2023.
10. Villao L, Chávez T, Pacheco R, Sánchez E, Bonilla J, Santos E. 2023. Genetic improvement in Musa through modern biotechnological methods. *Revista Bionatura* 8: 1-13.

Evaluation de la stabilité des performances agronomiques de variétés élités de bananes desserts au sein d'une gamme d'environnements

Lucile Toniutti^{1,2*}; Cassandre Jolivet^{3,4}; Jean Claude Efile^{1,2}; Florentin Pietrus^{1,2}; Simon Gilbert^{5,6}; Jean-Pierre Horry^{2,7}; Dominique Carval^{6,8}; Frédéric Salmon^{1,2}

¹CIRAD, UMR AGAP Institut, F-97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France; ²UMR AGAP Institut, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France; ³CIRAD, UMR PHIM, F-34398 Montpellier, France; ⁴PHIM Plant Health Institute, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France; ⁵CIRAD, UPR GECCO, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France; ⁶GECCO, Univ. Montpellier, F-34398 Montpellier; ⁷CIRAD, UMR AGAP Institut, F-34398 Montpellier, France; ⁸CIRAD, UPR GECCO, F-97455 Saint Pierre, Réunion, France.

*Autor de

Correspondencia:

Lucile Toniutti
lucile.toniutti@cirad.fr

Contribución:
Científica

Sección:
Recursos Genéticos y
mejoramiento

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Toniutti L, Jolivet C, Efile JC, Pietrus F, Gilbert S, Horry JP, Carval D, Salmon F.2024. Evaluation de la stabilité des performances agronomiques de variétés élités de bananes desserts au sein d'une gamme d'environnements. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 4
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2404>

RESUMEN

La introducción de variedades de plátano innovadoras, tolerantes a los patógenos y con buenas cualidades organolépticas es una palanca para una mayor resistencia a las limitaciones climáticas y a las enfermedades emergentes, y una menor dependencia de los insumos agrícolas. Se ha creado una primera red de evaluación multilocal en bloques completos aleatorios de 4 variedades desarrolladas por el CIRAD, incluyendo Martinica, Guadalupe y Reunión. Se evaluaron las características agromorfológicas y los niveles de resistencia a la sigatoka de estas variedades. Los resultados mostraron que la interacción genotipo X ambiente era significativa para todos los caracteres evaluados. Algunas variedades parecen ser más homeostáticas (CIRAD 925, 938) y otras más plásticas (CIRAD 931).

Palabras Clave: *Musa* spp., Mejoramiento, interacción genotipo-medio ambiente, genética.

ABSTRACT

L'introduction de variétés de bananiers innovantes, tolérantes aux pathogènes avec de bonnes qualités organoleptiques constitue un levier permettant une meilleure résilience aux contraintes climatiques, aux maladies émergentes et une moindre dépendance aux intrants agricoles. Un premier réseau d'évaluation multi-locale en blocs aléatoires complets de 4 variétés développées par le CIRAD comprenant la Martinique, la Guadeloupe et la Réunion a été mis en place. Les caractéristiques agro-morphologiques et niveaux de résistance à la cercosporiose de ces variétés ont été évaluées. Les résultats ont mis en évidence une significativité de l'interaction Genotype X Environnement pour l'ensemble des caractères évalués. Certaines variétés semblent davantage homéostatiques (CIRAD 925, 938) et d'autres plastiques (CIRAD 931).

Mots clés: *Musa* spp., amélioration variétale, interaction Genotype x Environnement, génétique.



INTRODUCTION

La banane (*Musa* spp.) est un aliment de base important et une culture fruitière appréciée dans le monde entier. La banane est actuellement le fruit le plus produit et le plus commercialisé au monde, avec une production mondiale avoisinant les 117 millions de tonnes en 2019 et des exportations estimées à 24 millions de tonnes la même année (FAOSTAT, 2021). Bien que plus de 1 000 variétés de bananes soient produites et consommées localement dans le monde, près de 95 % de la production mondiale repose sur un nombre limité de variétés. Parmi celles-ci, les variétés les plus commercialisées appartiennent au sous-groupe Cavendish et représentent environ 47 % de la production mondiale (Arias et al., 2003). Ce type variétal est le plus commercialisé en raison notamment de sa résistance aux chocs durant le transport vers les pays importateurs, de sa forte productivité et de sa taille (Voora et al., 2020). Cependant ces variétés sont sensibles aux stress biotiques. Ainsi, les cultivars du sous-groupe Cavendish sont particulièrement sensibles à la cercosporiose noire (*Mycosphaerella fijiensis*), dans une moindre mesure à la cercosporiose jaune (*Mycosphaerella musicola*) (Jones, 2009). Récemment, la découverte d'une nouvelle race particulièrement agressive de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (fusariose du bananier) appelée Foc TR4, constitue une menace majeure à la production mondiale de bananes 'Cavendish' (Buddenhagen, 2009). L'amélioration variétale constitue donc un levier potentiel afin de maintenir la production mondiale de bananes dessert en développant des variétés résistantes aux stress biotiques et abiotiques. L'amélioration variétale par croisements conduite par le CIRAD sur sa plateforme de sélection en Guadeloupe développe des variétés hybrides selon un cahier des charges co-défini avec les partenaires de la production, combinant critères agronomiques, résistance aux maladies et qualité commerciale des fruits pour répondre aux attentes et besoin des marchés locaux, régionaux ou internationaux. La performance d'une variété étant le résultat de l'expression de son génotype dans un environnement donné, il est donc indispensable que les variétés créées et sélectionnées sur une plateforme unique fassent l'objet d'une évaluation multi-locale dans différentes conditions environnementales et sanitaires. Pour cela, il est proposé d'étudier la stabilité de ces variétés avec le modèle AMMI permettant d'analyser les interactions Génotype x Environnement (GxE), en cherchant à répondre à l'interrogation suivante : Des variétés de banane dessert sélectionnées en Guadeloupe possèdent-elles, dans d'autres environnements, les mêmes performances agronomiques et niveaux de résistance aux cercosporioses?

MATERIEL ET METHODES

Dispositif expérimental

Les génotypes de bananiers ont été évalués dans un essai multi local de trois environnements en Guadeloupe Martinique et La Réunion. Ces trois environnements

possèdent des types de sol, altitudes, températures moyennes et pluviométries moyennes différents (Tableau 1).

L'essai a été conduit sur des stations expérimentales du CIRAD. La plantation a eu lieu en octobre 2020 pour la réunion et en juin 2021 pour la Martinique et la Guadeloupe. La fertilisation et l'irrigation sont adaptées en fonction des besoins de chaque site. Aucun traitement phytosanitaire n'est appliqué afin de prendre en compte les différents contextes pathogènes dans la notion d'environnement. Des œilletonnages sont régulièrement réalisés afin d'éliminer les rejets non sélectionnés pour le prochain cycle. De la même façon pour les régimes en maturation, les mains mâles et la « popote » (fleur restante à la fin du régime) sont coupées. Sur la dernière main comportant des « faux-fruits (fruits avortés) le plus gros fruit est sélectionné afin de servir de tire-sève, les autres sont enlevés.

Tableau 1. Caractéristiques des trois environnements en 2021.

Nom de la station	Type de sol	Températures (Moyenne annuelle)	Pluviométrie (moyenne annuelle)	Altitude
Guadeloupe: Station de Neufchâteau	Ferralitique friable (oxysol)	27.4 °C	1.69 mm/j	328 m
Martinique: CAEC	Argileux (ferrisol)	27.73 °C	1.67 mm/j	23 m
La réunion: Station Bassin Plat	Argilo-limoneux (brun andique)	24.61 °C	2.29 mm/j	156 m

Les hybrides étudiés appartiennent à *Musa Accuminata*. Trois hybrides du CIRAD (CIRAD 931, CIRAD 938 et CIRAD 925) et la variété du groupe Cavendish 902 ont été plantés selon un dispositif en blocs aléatoires complets répété sur les trois sites. Les parcelles sont entourées d'une bordure constituée de 902 ('Cavendish'). En Guadeloupe, 6 répétitions de chaque variété ont été disposées aléatoirement dans 6 blocs (36 plants /variété). En Martinique, sont présentes 5 répétitions par variété dans 6 blocs (30 plants /variété). A La Réunion, chaque variété est répétée 8 fois au sein de 5 blocs (40 plants/variété) La variété du groupe Cavendish 902 est utilisée en témoin.

Evaluation du rendement et de l'incidence de la cercosporiose noire

Pour chaque plante, les caractères liés aux composantes du rendement ou l'incidence de la cercosporiose noire ont été mesurées au cours d'un cycle de production. Les critères mesurés sont les suivants: le nombre de doigts et la durée d'évolution totale de la cercosporiose. Pour ce qui est de la sensibilité à la cercosporiose noire, durant toute la croissance du bananier des notations régulières sont effectuées jusqu'à la floraison. A La Réunion pour chaque variété 4 bananiers ont été suivis par bloc, en Guadeloupe et Martinique 3. Ces bananiers ont été sélectionnés au stade de rejet selon les critères suivant: plus de sept feuilles vertes et dans l'alignement du rang sans risque de chute du pied-mère sur le rejet. Pour chaque individu, la plus jeune feuille émise présentant au moins dix nécroses de stade six est notée (PJFN). A partir de ces relevés, ainsi que du nombre de feuilles total lors de la notation (feuilles au moins en partie verte = NFT), l'indice de feuilles non nécrosées est calculé (IFNN) comme suit: $IFNN = (PJFN - 1) / NFT \times 100$. Dans le but d'étudier plus précisément le comportement des variétés face aux cercosporioses la durée d'évolution totale (cycle infectieux, DET-N) est calculée selon la formule suivante: $DET_N = PJFN / REF \times 7$ ou le REF est le rythme d'émission foliaire. Le DET-N correspond au nombre de jours jusqu'à production d'ascospores.

Analyse statistique

L'interaction Génotype x Environnement a été plus spécifiquement étudiée à l'aide d'un modèle d'analyse : Additive Main-effects and Multiplicative Interaction (AMMI) (Gauch et al., 2013). Afin de simplifier l'interprétation, des indices calculés à partir des résultats du modèle AMMI ont été utilisés comme l'AMMI Stability Value (ASV) (Purchase 2000). Des scores ASV plus petits indiquent un génotype plus stable à travers les environnements. A partir du rang de leur ASV, et de leur moyenne entre tous les environnements, les génotypes peuvent être classés à l'aide du Genotype Selection Index (GSI). Le GSI permet donc de voir quels génotypes possèdent le meilleur compromis entre performance et stabilité (Farshadfar, 2008). Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R. 4.1.2, en particulier via les packages « ammistability » et « metan » .

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le nombre de doigts est une composante du rendement. Le nombre de doigts varie fortement entre les environnements. Ce résultat est cohérent avec une étude d'Ortiz en 1998. En effet, des différences entre des variétés diploïdes, triploïdes et tétraploïdes avaient été constatées entre trois stations de l'IITA, pour certaines caractéristiques comme le nombre de feuilles, la hauteur, poids de régime et le nombre de mains par régime. Plus récemment, dans un article sur la variation des caractères et la diversité génétique d'une population d'entraînement à la sélection génomique, chez le bananier (Nyine, 2017), la significativité de cette interaction a de nouveau été mise en évidence par une analyse de variance.

D'après les valeurs d'ASV issues du modèle AMMI la variété CIRAD 925 est la plus homéostase pour ce critère, alors que la CIRAD 931 est la plus plastique (Figure 1). En revanche, stabilité et « performance » sont antagonistes. La CIRAD 931 est sensible à l'environnement, mais malgré cette plasticité elle reste la variété avec le nombre le plus élevé de doigts dans tous les environnements, c'est son écart aux autres variétés qui varie. Inversement, la CIRAD 925 est très homéostase mais elle est en 3ème position en termes de nombre moyen de doigts (152), avec presque 100 doigts de moins que la CIRAD 931 (244). La variété CIRAD 925 possède donc le meilleur compromis performance / stabilité (4 = le plus faible) et la CIRAD 938 le moins bon (6).

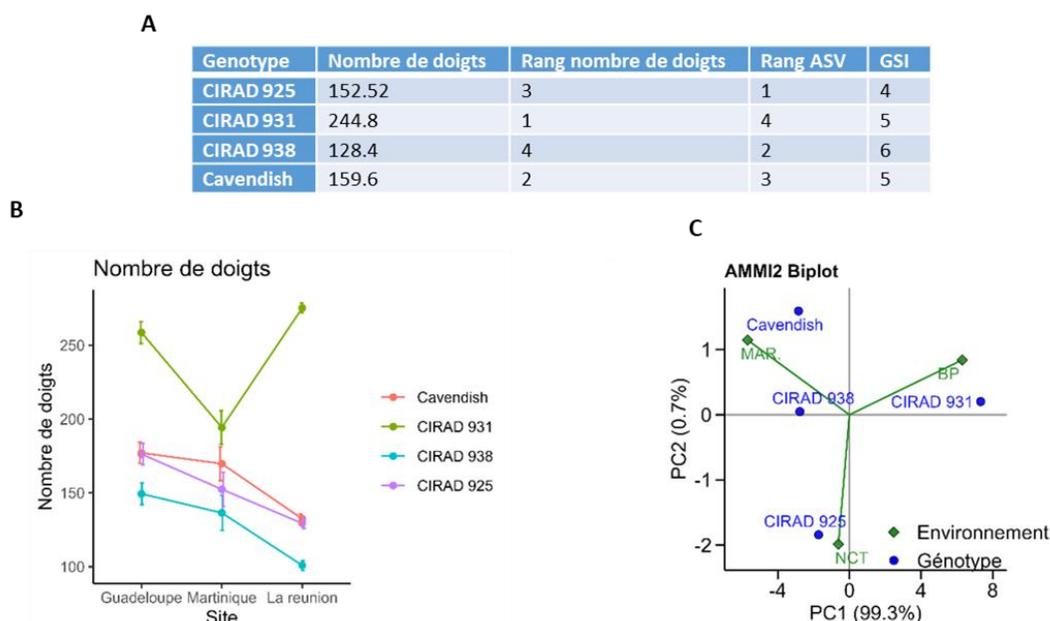


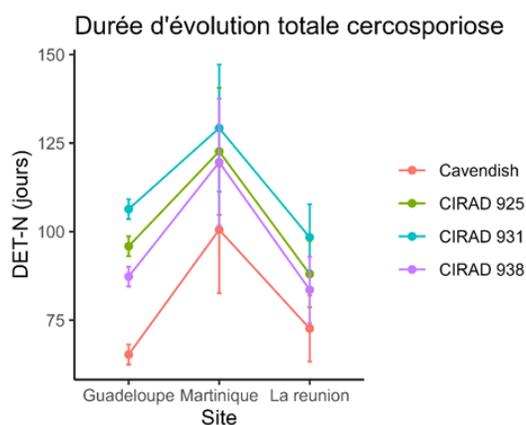
Figure 1. Nombre de doigts A. Valeurs d'ASV et GSI par genotype B. Normes de réaction C. Biplot du modèle AMMI

Le DET-N permet d'étudier plus précisément le comportement des variétés face à la cercosporiose puisqu'il correspond à la durée en jour pour atteindre le stade nécrose. L'interaction GXE de ce caractère est significative et forte. Néanmoins le classement des variétés reste le même quel que soit le site (Figure 2B). En comparaison avec la variété Cavendish témoin sensible, les 3 hybrides du CIRAD montrent une moindre sensibilité. En effet, Le cycle infectieux complet du champignon est plus long chez les hybrides que chez Cavendish (Figure 2A, Figure 2B, Figure 2C). D'après les ASV la variété la plus stable est la 938 et la moins stable la Cavendish (Figure 2A). La variété CIRAD 931 semble posséder la résistance partielle la plus importante avec une durée d'évolution totale de la maladie de 111 jours. La variété CIRAD 931 possède donc le meilleur compromis performance / stabilité (3 = le plus faible) et la Cavendish le moins bon (8).

A

Genotype	DET-N	Rang DET-N	Rang ASV	GSI
CIRAD 925	105.13	2	3	5
CIRAD 931	111.26	1	2	3
CIRAD 938	96.5	3	1	4
Cavendish	78.57	4	4	8

B



C

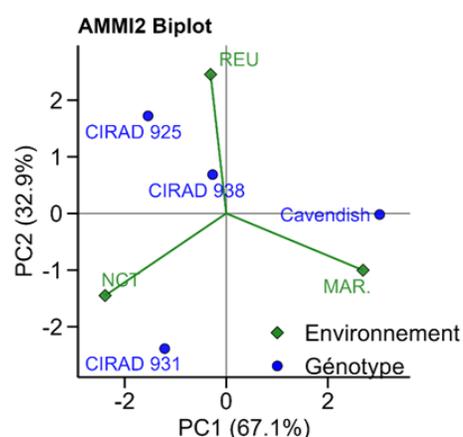


Figure 2. Durée d'évolution totale de la cercosporiose noire A. Valeurs d'ASV et GSI par genotype B. Normes de réaction C. Biplot du modèle AMMI

Comme l'indice GSI représente à la fois la productivité et la stabilité, nous avons décidé de comparer l'indice GSI du nombre de doigts et la sensibilité à la cercosporiose (mesurée par le DET-N) pour chaque variété. Ainsi, les CIRAD 925 et CIRAD 931 ont un bon compromis performance / stabilité pour le nombre de doigt et la cercosporiose a une faible incidence sur eux (Figure 3). Le modèle AMMI a également été utilisé pour analyser la stabilité de 11 génotypes de Coffea arabica (2 lignées pures et 9 nouveaux hybrides F1) entre 4 environnements (Marie et al., 2020). Lors de cette étude,

une comparaison entre le GSI du rendement et l'incidence de la rouille a été réalisée, comme cela a été fait ici entre le GSI du nombre de doigts (composante du rendement) et le DET-N. Dans leur étude en revanche, les géotypes avec une plus faible sensibilité à la rouille n'étaient pas forcément ceux avec les GSI de rendement les plus faibles, donc avec la valeur sélective la plus importante.

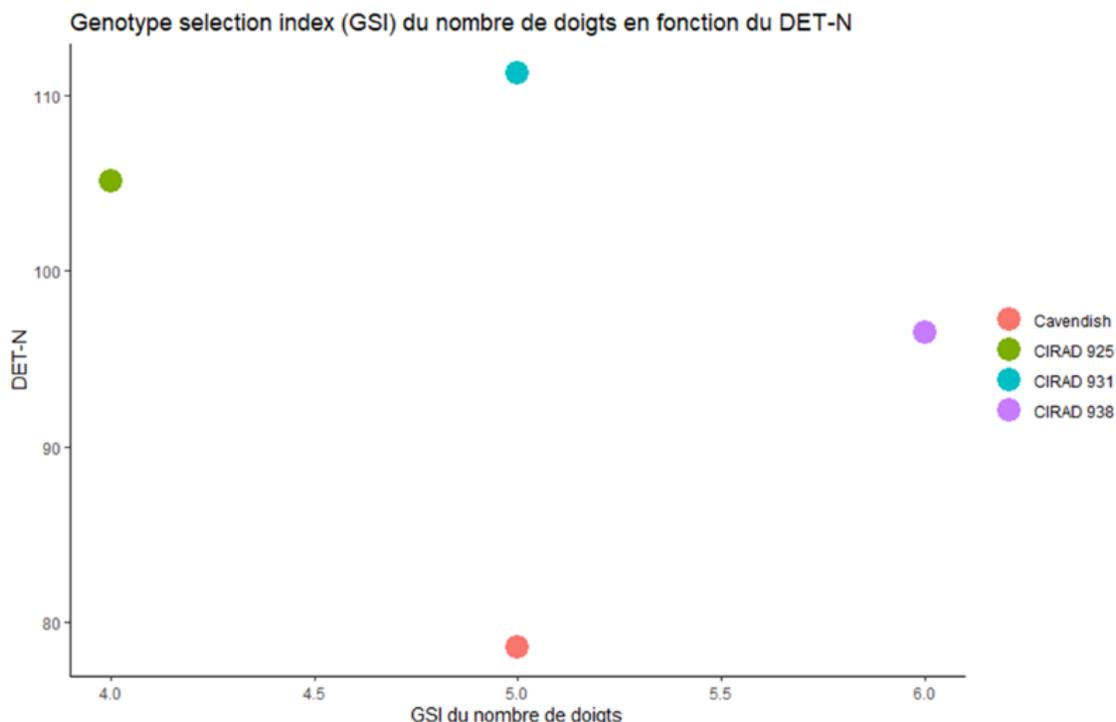


Figure 3. Analyse croisée DET-N moyen X GSI du Nombre de doigts.

CONCLUSIONS

Cette étude a permis de mettre en évidence la forte variabilité des caractères de variétés de bananes dessert créées et sélectionnées en Guadeloupe, dans d'autres environnements. Deux comportements différents des variétés vis-à-vis de la stabilité et de leurs performances moyennes ont été relevés. Ainsi, certaines comme par exemple la variété CIRAD 925 possèdent des caractéristiques plutôt stables entre les environnements, avec des performances moyennes. Inversement, d'autres variétés comme la CIRAD 931 ont des phénotypes fortement variables entre les sites et sont plutôt plastiques, mais sont très performantes dans certains environnements.

RÉFÉRENCES

1. Arias P, Dankers C, Liu P, Pilkauskas P (2003). The world banana economy. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
2. Buddenhagen, I., 2009. Understanding strain diversity in *Fusarium oxysporum* f. Sp. *cubense* and history of introduction of « tropical race 4 » to better manage banana production. Acta Horticulturae. mai 2009. N° 828, pp. 193 204. DOI 10.17660/ActaHortic.2009.828.19.
3. FARSHADFAR, Ezatollah, 2008. Incorporation of AMMI Stability Value and Grain Yield in a Single Non-Parametric Index (GSI) in Bread Wheat. 2008.
4. GAUCH JR., Hugh G., 2013. A Simple Protocol for AMMI Analysis of Yield Trials. Crop Science. 2013. Vol. 53, n° 5, pp. 1860 1869. DOI 10.2135/cropsci2013.04.0241.
5. JONES, D.R., 2009. Disease and pest constraints to banana production. Acta Horticulturae. mai 2009. N° 828, pp. 21 36. DOI 10.17660/ActaHortic.2009.828.1.
6. Marie, Lison, Abdallah, Cécile, Campa, Claudine, Courtel, Philippe, Bordeaux, Mélanie, Navarini, Luciano, Lonzarich, Valentina, Bosselmann, Aske Skovmand, Turreira-García, Nerea, Alpizar, Edgardo, Georget, Frédéric, Breitler, Jean-Christophe, Etienne, Hervé et Bertrand, Benoît, 2020. G × E interactions on yield and quality in Coffea arabica: new F1 hybrids outperform American cultivars. Euphytica. 20 avril 2020. Vol. 216, n° 5, pp. 78. DOI 10.1007/s10681-020-02608-8.
7. Ortiz, 1998. Genotype-by-Environment Interaction and Testing Environments for Plantain and Banana (*Musa* spp. L.) Breeding in West Africa. 1998.
8. Purchase, J. L., Hatting, Hesta et Van Deventer, C. S., 2000. Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South African Journal of Plant and Soil. 1 janvier 2000. Vol. 17, n° 3, pp. 101 107. DOI 10.1080/02571862.2000.10634878.
9. Voora, Larrea et Bermudez, 2020. Global Market Report: Bananas. 2020..

Selección temprana de la resistencia a marchitez por *Fusarium* raza 1 en mutantes del cultivar ‘Zanzibar’ (Grupo AAB, *Musa* spp.)

Barbarita Companioni-González^{1*}; Armando Rodríguez-García¹; José de La Caridad Ventura-Martín²; José C. Lorenzo-Feijoo³; Nayanci Portal-González⁴; Ramón Santos-Bermúdez⁴; Rómulo García-Velasco⁵

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México; ²Instituto Nacional de Investigaciones en Viandas Tropicales, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba; ³Centro de Bioplasmas, Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez, Ciego de Ávila, Cuba; ⁴Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, San Mateo, Esmeraldas, Ecuador; ⁵Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Tenancingo, Tenancingo, Estado de México, México.

*Autor de

Correspondencia:

Barbarita Companioni-González
bcompanioni2007@gmail.com

Contribución:

Científica

Sección:

Recursos Genéticos y
Mejoramiento

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Companioni-González B, Rodríguez-García A, Ventura-Martín JdelaC, Lorenzo-Feijoo JC, Portal-González N, Santos-Bermúdez R, García-Velasco R. 2024. Selección temprana de la resistencia a marchitez por *Fusarium* raza 1 en mutantes del cultivar ‘Zanzibar’ (Grupo aab, *Musa* spp.). *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 5
<https://doi.org/10.62498/ARTC.2405>

RESUMEN

En trabajos previos se desarrolló un método para la diferenciación a nivel foliar de la respuesta de plantas de banano a la marchitez por *Fusarium* raza 1 mediante la utilización de filtrados del cultivo del hongo. El objetivo de este trabajo consistió en realizar la selección temprana de la resistencia a marchitez por *Fusarium* raza 1 en mutantes del cultivar ‘Zanzibar’ (grupo AAB, *Musa* spp.) mediante el método de evaluación mencionado. Los resultados evidenciaron que las plantas de las líneas evaluadas del clon ‘Zanzibar’ irradiado indican ser materiales promisorios para el mejoramiento genético en el cultivo dirigido a la resistencia a esta enfermedad.

Palabras clave: biotecnología, enfermedad, filtrado del hongo, Genética.

ABSTRACT

In previous works, a method was developed for the differentiation at the foliar level of the response of banana plants to *Fusarium* race 1 wilt through the use of culture filtrate the fungus. The objective of this work was to perform early selection for resistance to *Fusarium* wilt race 1 in mutants of the 'Zanzibar' cultivar (group AAB, *Musa* spp.) using the evaluation method mentioned. The results showed that the plants of the evaluated lines of the irradiated 'Zanzibar' clone indicate that they are promising materials for genetic improvement in the crop aimed at resistance to this disease.

Keywords: biotechnology, disease, culture filtrate Genetic.



INTRODUCCIÓN

Los bananos y plátanos (*Musa* spp.) constituyen una importante fuente de alimento para una gran parte de la población mundial. Sin embargo, la producción de las musáceas se encuentra amenazada por la incidencia de enfermedades como la marchitez por *Fusarium*. Esta enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) representa una de las enfermedades más destructivas y de importancia económica en el género *Musa*. El control del patógeno vascular con el uso de agroquímicos resulta costoso y causa serios daños al medio ambiente (FAOSTAT, 2020). Por ello, en los últimos años se ha considerado al mejoramiento genético para la resistencia como la única forma de control efectivo y segura (Saraswathi *et al.*, 2016). En este sentido, la utilización de técnicas biotecnológicas en apoyo al mejoramiento genético para la resistencia a la marchitez por *Fusarium* en banano ha permitido introducir los resultados de la mejora con mayor rapidez; en comparación con los métodos del mejoramiento genético convencional (García *et al.*, 2021). Por otro lado, han permitido aumentar la eficiencia de los programas de mejoramiento genético en el cultivo (Saraswathi *et al.*, 2016). Ventura *et al.* (2015) mediante el uso combinado del cultivo de tejidos y la mutagénesis *in vitro* en ápices meristemáticos del cultivar ‘Zanzíbar’ (grupo AAB) obtuvieron una amplia variabilidad genética en el clon ‘Zanzíbar’ donde seleccionaron 15 mutantes. Las líneas ‘Z 13’, ‘Z 30’ y el ‘Z 30 A’ resultaron los mejores materiales promisorios para el mejoramiento genético en el cultivo por su alto rendimiento; por la eliminación de los cormos superficiales; por la disminución en la altura; y por el ahijamiento ordenado. El presente trabajo se realizó con el objetivo de realizar la selección temprana de la resistencia a marchitez por *Fusarium* raza 1 en mutantes del cultivar ‘Zanzíbar’ (grupo AAB, *Musa* spp.) obtenidos mediante técnicas biotecnológicas en Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Interacción Planta – Patógeno del Centro de Bioplantas de la Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”, Cuba. En la experimentación se utilizó un aislado de FOC raza 1 (perteneciente al grupo de compatibilidad vegetativa (GCV) [01210] procedente del cepario del Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV), La Habana, Cuba. Las líneas evaluadas del clon ‘Zanzíbar’ (grupo AAB) fueron: ‘Z 13’, ‘Z 30’ y el ‘Z 30 A’. Las cuales fueron obtenidas en el programa de mejoramiento genético de *Musa* spp. que se desarrolló en el Instituto Nacional de Investigaciones en Viandas Tropicales de Santo

Domingo, Villa Clara, Cuba (INIVIT). En el cual mediante la utilización de radiaciones ionizantes (rayos gamma) en ápices meristemáticos del clon 'Zanzíbar', a partir del cultivo *in vitro* lograron la selección de 15 mutantes. Posteriormente, en condiciones de campo y durante tres ciclos vegetativos seleccionaron las líneas 'Z 13', 'Z 30' y el 'Z 30 A' como los materiales más avanzados para el mejoramiento genético en el cultivo (Ventura *et al.*, 2015). Como materia vegetal se utilizaron muestras foliares de las líneas 'Z 13', 'Z 30' y el 'Z 30 A' de ocho a nueve meses de plantadas en el Banco de Germoplasma de Banano del INIVIT. Para evaluar la resistencia y/o susceptibilidad a marchitez por *Fusarium* raza 1 se establecieron seis momentos de evaluación (cada dos meses en el mismo año del desarrollo de la experimentación).

Se realizó la colecta en campo de hojas sanas de mediana edad según la posición en la planta (hojas 3, 4 y 5) de cada línea a evaluar ('Z 13', 'Z 30' y el 'Z 30 A'). En cada hoja se realizaron 18 punteaduras con una aguja estéril en el lado adaxial del limbo de la hoja con 3 cm de separación entre ellas; y en tres posiciones diferentes (distal, medio y proximal). Después del daño, se agregaron 5 μL del filtrado del cultivo del hongo (FC) y 5 μL del medio de cultivo sin el hongo; y concentrado (tratamiento testigo). Las hojas se incubaron durante 48 horas a 28 ± 2 °C, $56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad luminosa, fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad y 70% de humedad relativa. Transcurridas las 48 horas se midió el área de las lesiones elíptica (mm^2) de las hojas de acuerdo a Companioni *et al.* (2003); y se extrajeron fragmentos de hoja con las lesiones elípticas de (5 x 5 cm) que se colocaron en nitrógeno líquido para los posteriores análisis bioquímicos (Figura 1). Se evaluaron los siguientes indicadores bioquímicos: actividad peroxidasa, niveles de pigmentos clorofílicos (a, b y totales), contenido de fenoles libres y ligados a las paredes celulares, malondialdehído, otros aldehídos y proteínas. Cada tratamiento incluyó tres hojas de plantas diferentes en cada línea evaluada ('Z 13', 'Z 30' y el 'Z 30 A'). Se evaluaron las áreas de la lesión elíptica de 54 punteadura/tratamiento (18 punteadura/hoja) y cada determinación bioquímica implicó a tres muestras independientes (una de cada hoja).

Con las mediciones citadas se evaluó cada planta en las funciones discriminantes descritas por Companioni *et al.* (2005) para conocer si eran clasificadas correctamente. Los resultados obtenidos se compararon mediante la prueba paramétrica t-test para conocer si los resultados de cada función eran estadísticamente diferentes. La probabilidad máxima de cometer error de tipo I fue 0.05. En el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el utilitario *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS para Windows, versión 8).

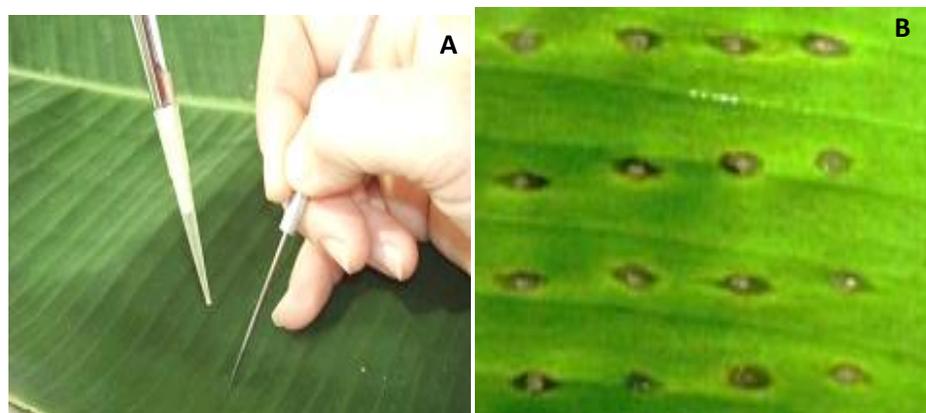


Figura 1. Procedimiento para evaluar la resistencia y/o susceptibilidad a marchitez por *Fusarium* raza 1 en mutantes del cultivar ‘Zanzíbar’ (grupo AAB, *Musa* spp.). A) aplicación del filtrado de cultivo del hongo en el limbo de la hoja; y B) evaluación del área de la lesión, y corte de fragmentos para los análisis bioquímicos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la resistencia a marchitez por *Fusarium* raza 1 GCV [01210] en cada línea evaluada y en cada momento de evaluación según las funciones discriminantes se describen a continuación (Cuadro 1). Después de las 48 horas de la aplicación de los tratamientos descritos, y el posterior análisis bioquímico en las hojas de las líneas del clon 'Zanzíbar' se pudo observar que las funciones discriminantes clasificaron como resistente al 93.3% de las plantas evaluadas del mutante ‘Z 30’ (56 plantas de 60).

Mientras, que en la línea ‘Z 13’ se clasificaron como resistentes el 91.6% de las plantas evaluadas (55 plantas de 60). Por último, en la línea ‘Z 30A’ se observó que las funciones discriminantes en este cultivar clasificaron al 96.6% de las plantas como resistente (58 plantas de 60). Los resultados evidenciaron que las líneas seleccionadas del clon ‘Zanzíbar’ irradiado (‘Z 13’, ‘Z 30’ y el ‘Z 30 A’) pueden ser materiales promisorios para el mejoramiento genético en el cultivo, dirigido a la resistencia a FOC raza 1 GCV [01210], donde su resistencia osciló del 91.6 al 96.6%. Sin embargo, no se descarta la necesidad de continuar estudios adicionales en campo para verificar la resistencia en las líneas evaluadas. Por otro lado, aunque se realicen evaluaciones de la resistencia *in vitro*, las plantas supuestamente resistentes deben someterse a estudios en campo (Dita *et al.*, 2018). En este sentido, Saraswathi *et al.* (2016) realizaron la selección de los mutantes de banano del cultivar Rasthali (Silk, AAB) con resistencia

a la raza 1 del GCV [0124/5] de FOC mediante la selección *in vitro*. Para ello, utilizaron como agentes de selección toxina (ácido fusárico), y FC del patógeno.

Cuadro 1. Clasificación en susceptibles o resistentes hecha por las funciones discriminantes en las líneas seleccionadas del clon ‘Zanzíbar’ irradiado.

Momentos de evaluación	Líneas evaluadas	Número total de plantas evaluadas	Número total de plantas potencialmente resistentes según funciones discriminantes
1	‘Z-30’	10	10 (100%)
2	‘Z-30’	10	8 (80%)
3	‘Z-30’	10	9 (90%)
4	‘Z-30’	10	9 (90%)
5	‘Z-30’	10	10 (100%)
6	‘Z-30’	10	10 (100%)
1	‘Z-13’	10	8 (80%)
2	‘Z-13’	10	9 (90%)
3	‘Z-13’	10	9 (90%)
4	‘Z-13’	10	10 (100%)
5	‘Z-13’	10	10 (100%)
6	‘Z-13’	10	9 (90%)
1	‘Z-30A’	10	10 (100%)
2	‘Z-30A’	10	9 (90%)
3	‘Z-30A’	10	9 (90%)
4	‘Z-30A’	10	10 (100%)
5	‘Z-30A’	10	10 (100%)
6	‘Z-30A’	10	10 (100%)

Los brotes individuales de los mutantes de banano obtenidos después del tercer o cuarto subcultivo fueron transferidos al medio de cultivo de multiplicación, suplementado con diferentes concentraciones de la toxina (ácido fusárico comercial) (Sigma Aldrich, EE. UU.) (0.0125; 0.025; 0.0375; 0.05 y 0.0625 mM); y a las concentraciones de 3; 4; 5; 6; 7 y 8% del FC del patógeno. Además, añadieron el regulador de crecimiento. Después de tres semanas observaron el 50% de supervivencia de los explantes en la concentración de 0.050 mM de la toxina; y 7% con el FC del hongo. En concentraciones superiores observaron una rápida disminución en el crecimiento de los brotes de los mutantes de banano. A los tres meses siguientes, los mutantes seleccionados fueron transferidos para realizar las pruebas en macetas, en condiciones controladas mediante la inoculación al sustrato con una suspensión de esporas de 12×10^9 conidios mL⁻¹ del hongo. Posterior a los seis meses del proceso de evaluación de la resistencia obtuvieron tres mutantes putativos resistentes a la raza 1

de FOC. Los cuales fueron multiplicado *in vitro* de forma masiva para continuar otros estudios en la interacción. Es importante señalar que para el establecimiento de sistemas de selección de la resistencia constituye una prioridad la determinación de una concentración correcta del FC del patógeno o toxina; así como la determinación de la expresión de la actividad fitotóxica diferencial entre variedades. Ambos aspectos incrementan las posibilidades de obtener líneas estables de plantas con resistencia a las enfermedades (Portal *et al.* 2021). Como se puede mostrar, aunque se realicen selecciones *in vitro* las plantas supuestamente resistentes deben someterse a estudios en campo. Por otra parte, se evidencia la reducción del tiempo necesario de respuesta para conocer si una planta es resistente o susceptible (48 horas). Por último, permite evaluar un número importante de muestras en condiciones de laboratorio, y de esta manera acelerar los programas de mejoramiento genético a esta enfermedad. Lo cual evidencia el potencial de la biotecnología en el campo del mejoramiento genético en el cultivo.

CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que las líneas seleccionadas del clon ‘Zanzíbar’ irradiado (‘Z 13’, ‘Z 30’ y el ‘Z 30 A’) pueden ser materiales promisorios para el mejoramiento genético en el cultivo, dirigido a la resistencia a FOC raza 1 GCV [01210] donde su resistencia osciló del 91.6 al 96.6%. Sin embargo, no se descarta la necesidad de continuar estudios adicionales en campo para verificar la resistencia al patógeno raza 1.

REFERENCIAS

1. Companioni B, Arzola M, Rodríguez Y, Mosqueda M, Pérez MC, Borrás O, Lorenzo JC, Santos R. 2003. Use of *in vitro* culture-derived *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1 filtrates for rapid and non-destructive differentiation of field-grown banana resistant from susceptible clones. *Euphytica* 130:341–347. <https://doi.org/10.1023/A:1023027604627>
2. Companioni B, Mora N, Díaz L, Pérez A, Arzola M, Espinosa P, Hernández M, Ventura J, Pérez MC, Santos R, Lorenzo JC. 2005. Identification of discriminant factors alter treatment of resistant and susceptible banana leaves with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* culture filtrates. *Plant Breeding* 124: 79–85. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2004.00997.x>
3. Dita M, Barquero M, Heck D, Mizubuti ESG, Staver CP. 2018. *Fusarium* wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science* 9: 1468. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>

4. FAOSTAT. 2020. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
5. García R, Portal N, Santos R, Rodríguez A, Companioni B. 2021. Mejoramiento genético para la resistencia a marchitez por *Fusarium* en banano. Revista Mexicana de Fitopatología 39 (1): 122-146. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2008-2>.
6. Portal N, Soler A, Ribadeneira C, Solano J, Portieles R, Herrera L, Companioni B, Borrás O, Santos R. 2021. Phytotoxic metabolites produced by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 2. Frontiers in Microbiology 12: 1-8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.629395>
7. Saraswathi M, Kannan G, Uma S, Thangavelu R, Backiyarani S. 2016. Improvement of banana cv. Rasthali (Silk, AAB) against *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (VCG 0124/5) through induced mutagenesis: Determination of LD50 specific to mutagen, explants, toxins and *in vitro* and *in vivo* screening for *Fusarium* wilt resistance. Indian Journal of Experimental Biology 54: 345-353. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27319054/>
8. Ventura JC, López J, Rodríguez S, Medero V, González L, Ventura V, Vázquez D, Torres M, Montano N, Gálvez J, Valdés M, Triana O. 2015. Obtención de mutantes de porta bajo por irradiaciones en el cultivar ‘Zanzibar’ (*Musa* spp, grupo AAB). Revista Agricultura Tropical 1 (1): 39-50.

Seed formation in banana (*Musa* spp.) in relation to time of year and environmental conditions in the Brazilian subtropics

Ramon Felipe Scherer^{1*}, Keny Henrique Marigueli¹ and André Boldrin Beltrame¹

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Brazil.

*Autor de

Correspondencia:

Ramon Felipe Scherer
ramonscherer@epagri.sc.gov.br

Contribución:

Científica

Sección:

Recursos Genéticos y
Mejoramiento

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

15 Abril, 2024

Cita:

Scherer RF, Marigueli KH
and Beltrame AB. 2024.
Seed formation in banana
(*Musa* spp.) in relation to
time of year and
environmental conditions in
the Brazilian subtropics.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
6
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2406](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2406)

ABSTRACT

One of the main methodologies for banana improvement is the crossing between commercial varieties and improved diploids, seeking new genotypes that produce fruits with characteristics already accepted by the consumer market and resistant to the main pests and diseases. However, the vast majority of commercial varieties are triploid with a high degree of infertility, making it difficult to generate new genotypes. Thus, the frequency of formation of complete banana seeds pollinated at different times of the year and environmental conditions was evaluated. It was observed that the highest frequency of seeds was obtained in meteorological autumn and in mid-season environmental conditions, however, the explanatory mechanism is still uncertain.

Keywords: Pome Subgroup, plant breeding, crosses, Genetic.

RESUMEN

Una de las principales metodologías para el mejoramiento del banano es el cruce entre variedades comerciales y diploides mejoradas, buscando nuevas variedades con características ya aceptadas por el mercado consumidor y resistentes a las plagas y enfermedades. Sin embargo, la gran mayoría de las variedades comerciales son triploides con un alto grado de infertilidad, dificultando la generación de nuevos genotipos. Así, se evaluó la frecuencia de formación de semillas completas de banana con polinización en diferentes épocas del año y condiciones ambientales. Se observó que la mayor frecuencia de semillas se obtuvo en otoño meteorológico y en condiciones ambientales de media estación, sin embargo, el mecanismo explicativo aún es incierto.

Palabras Clave: Subgrupo Prata, fitomejoramiento, cruces, Genética.



INTRODUCTION

Banana is one of the most economically and socially important plants in the world, with world trade being restricted, basically, to the Cavendish subgroup, and Brazilian trade to the Pome and Cavendish subgroups (Lichtemberg e Lichtemberg, 2011; Voora et al. 2020). These two subgroups are formed by triploid varieties, all genetically very similar in each subgroup, since the main methodology for generating new varieties in these two subgroups is the selection of spontaneous mutants (Scherer et al. 2023). Varieties of the Pome subgroup and the Cavendish subgroup are susceptible to diseases of the Sigatoka complex and Panama disease (in this case, the Cavendish subgroup only to race 4) (Beltrame et al. 2023), requiring that research institutions solve these problems. In this way, research institutions around the world have been seeking to create new varieties that have commercial importance (domestic or international) and resistance to the main phytosanitary problems. In this sense, hybridization between commercial varieties and improved diploids is one of the main methodologies used, since it allows combining commercial characteristics with other characteristics of interest (Perrier et al. 2011). However, the vast majority of commercial banana varieties are triploid and have a high degree of sterility, which makes it difficult to generate seeds and, consequently, new hybrid varieties (Heslop-Harrison and Schwarzacher, 2007). Thus, the present work aimed to evaluate whether there are temporal/environmental characteristics that provide better conditions for the generation of banana seeds in southern Brazil.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out at the Itajaí Experimental Station of the Agricultural Research Company of Santa Catarina State (Epagri), Brazil, located at coordinates 26°57'08.9"S and 48°45'38.9"W, with a humid subtropical climate (Cfa in the Köppen classification) and average annual rainfall of 1,770mm.

A monthly pollination experiment was carried out from October 2019 to September 2021, with crossings taking place in the morning. Regarding the number of pollinated commercial genotypes: 248 variety plants were from the Pome subgroup ('Prata Anã', 'SCS453 Noninha' and 'SCS454 Carvoeira'), with an average of 7.29 plants per month; and 238 plants of varieties from the Cavendish subgroup ('Grande Naine' and 'Nanicão'), with an average of 7.0 plants per month. As for the male parents, 16 genotypes were randomly used from a collection of improved diploids, which is maintained at Epagri.

Plants with recently opened bunches (on average, 2.37 open hands) were chosen to start the first day of pollination in each month, which continued in the following days as the plants emitted new hands, with all hands of the chosen bunches being pollinated. Each plant was pollinated with just one male parent. The pollinated bunches were harvested at the harvest point and climatized. When ripe, the fruits were opened to look for seeds manually. For every seed obtained, embryo rescue was carried out and the number of complete seeds (seeds that contained endosperm and embryo) were counted.

Regarding data analysis, it was verified whether temporal conditions (month, year and season) and climatic conditions [Temperature (°C), Humidity (%), precipitation (mm) and radiation (Wm²)] influenced the frequency of complete seeds obtained. In the case of environmental conditions, the values used were the morning averages of the period of pollination days in each month, and the data were obtained directly from the Center for Environmental Information and Hydrometeorology (Epagri/Ciram). Factor comparisons were made using the chi-square test, considering 95% reliability.

RESULTS AND DISCUSSION

At the end of the three years of evaluation, 54 complete seeds were obtained from crosses between varieties of the Pome subgroup and improved diploids and no seeds from crosses between varieties of the Cavendish subgroup and improved diploids. Therefore, statistical analyzes were carried out only on data obtained from crosses between varieties of the Pome subgroup and improved diploids.

Regarding the chi-square tests, when the variable number of seed-forming plants was analyzed, the results were not significant neither when the treatments analyzed were the months in each year, nor when the treatments were each month (sum of the three years for each month) (Figure 1A and 1B). However, when the variable analyzed was the number of seeds in relation to the number of pollinated plants, the test indicated significant differences both when the treatments were the months in each year, and when the treatments were each month, however, without providing very relevant information, just that the highest values normally belonged to mid-season months (Figure 1C and 1D). These results provide an isolated ranking of treatments, without bringing any generalist trend, in this way, the months were grouped in the meteorological seasons of the southern Brazilian region, being: summer=December, January and February; Autumn=March, April and May; Winter= June, July and

August; and Spring= September, October and November. The observed results showed that the frequency of obtaining seeds in the meteorological autumn was higher than in other seasons, which did not differ from each other (Figure 1E).

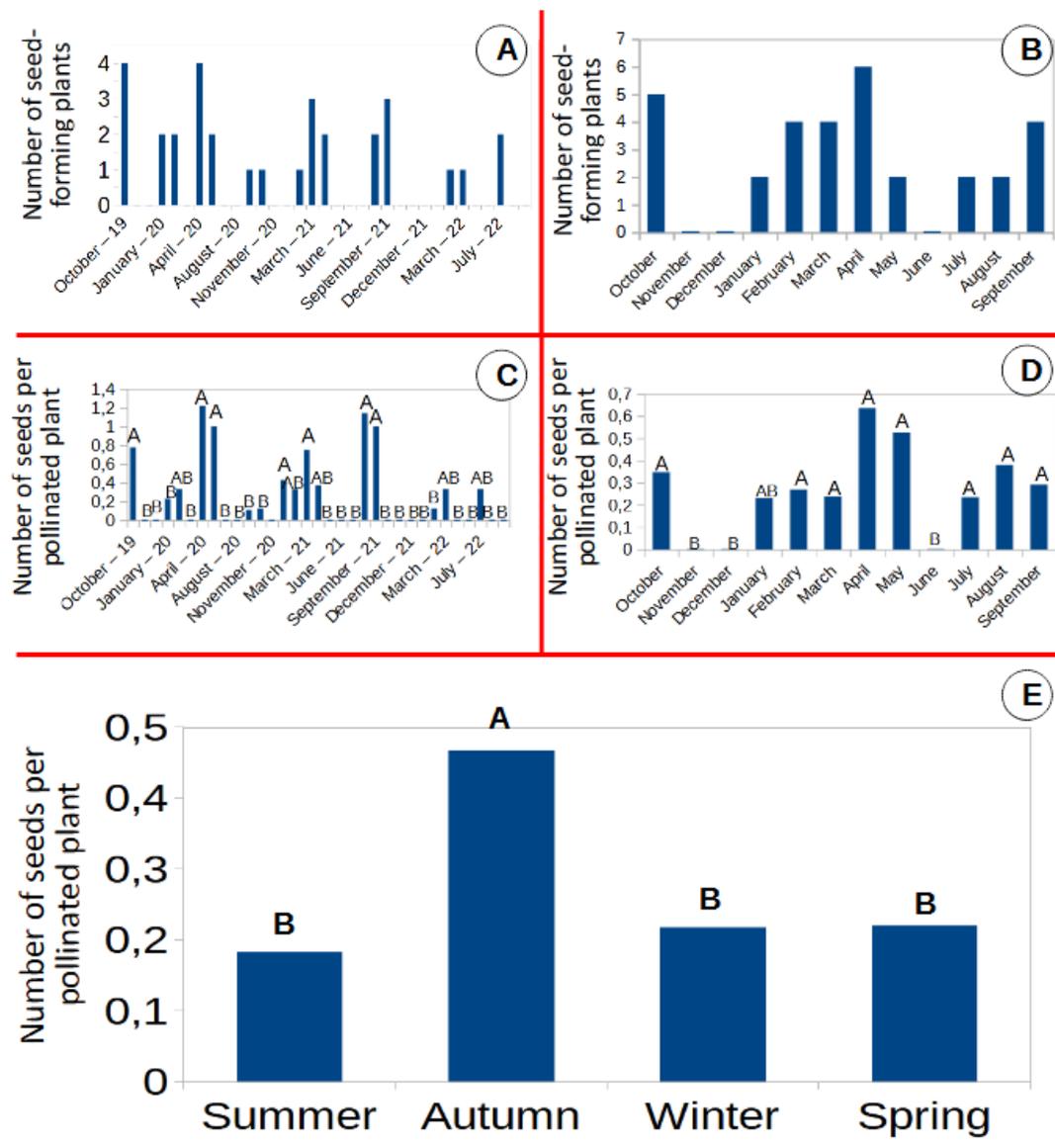


Figure 1. Number of seed-forming plants or seeds per pollinated plant in different times of the year. A) Number of seed-forming plants between October 2019 and September 2022; B) Number of seed-forming plants in each month (sum of three years for each month); C) Number of seeds per pollinated plant between October 2019 and September 2022; D) Number of seeds per pollinated plant in each month (sum of three years for each month); E) Number of seeds per pollinated plant in the different meteorological seasons of the year between October 2019

and September 2022. Means in columns followed by different letters differed by chi-square test (95% reliability).

In relation to environmental variables, the number of seeds formed was related to four temperature ranges, 13 to 16°C, 17 to 20°C, 21 to 24°C and 25 to 28°C, with the highest frequency of seeds being generated in the medium temperature range from 17 to 20°C and the other ranges did not differ from each other (Figure 2A). Regarding radiation, the ranges evaluated were: 100 to 199; 200 to 299; 300 to 399; 400 to 499; 500 to 599 and 600 to 699 Wm², with the highest frequencies of seeds generated occurring in the ranges of 300 to 399 Wm² and 200 to 299 Wm², with the remaining ranges showing no differences between them, but the range of 200 to 299 Wm², despite not differing from the range with the highest seed frequency, also did not differ from the ranges with lower frequencies (Figure 2B). Regarding rainfall, in addition to the absence of rain (0 mm), ranges between 0.01 and 0.19, 0.2 and 0.39 and greater than 0.4 mm were evaluated, with no differences between treatments (Figure 2C). Similarly, the humidity variation also did not present significant differences, with the ranges studied being: 75 to 79.9%, 80 to 84.9%, 85 to 89.9% and 90 to 94.9% relative humidity (Figure 2D).

The range of average temperatures of 17 to 20°C and intermediate radiation values (in the ranges of 300 to 399 Wm² and 200 to 299 Wm²) correspond to mid-season conditions (Spring and Autumn) in the southern region of Brazil, however, according to the results obtained, only the autumn meteorological season showed a greater formation of complete seeds, with spring not differing from summer and winter. This may be related to the nutritional conditions of the plants, since, according to Guimarães et al., (2023), in the subtropical region of the study, from September to December, plants are deficient in some nutrients (Ca, Zn, Cu and B) even though they are available in the soil. Precisely elements such as Ca and B that in other studies show to be closely linked to plant fecundity (Zhang et al. 2019; Muengkaew et al. 2016).

In this sense, Waniale et al. (2021) found that the highest frequency of seed formation within each cultivar was observed in more developed bunches, which is linked to plant nutrition. On the other hand, Waniale et al. (2021), found that seed frequency was observed in the hottest and driest months, which differs from the results obtained in this work. This may be related to the specific conditions of each location where the studies took place and/or to a genotype dependence of the *Musa* spp. in relation to fecundity, since the varieties used in the two studies are different.

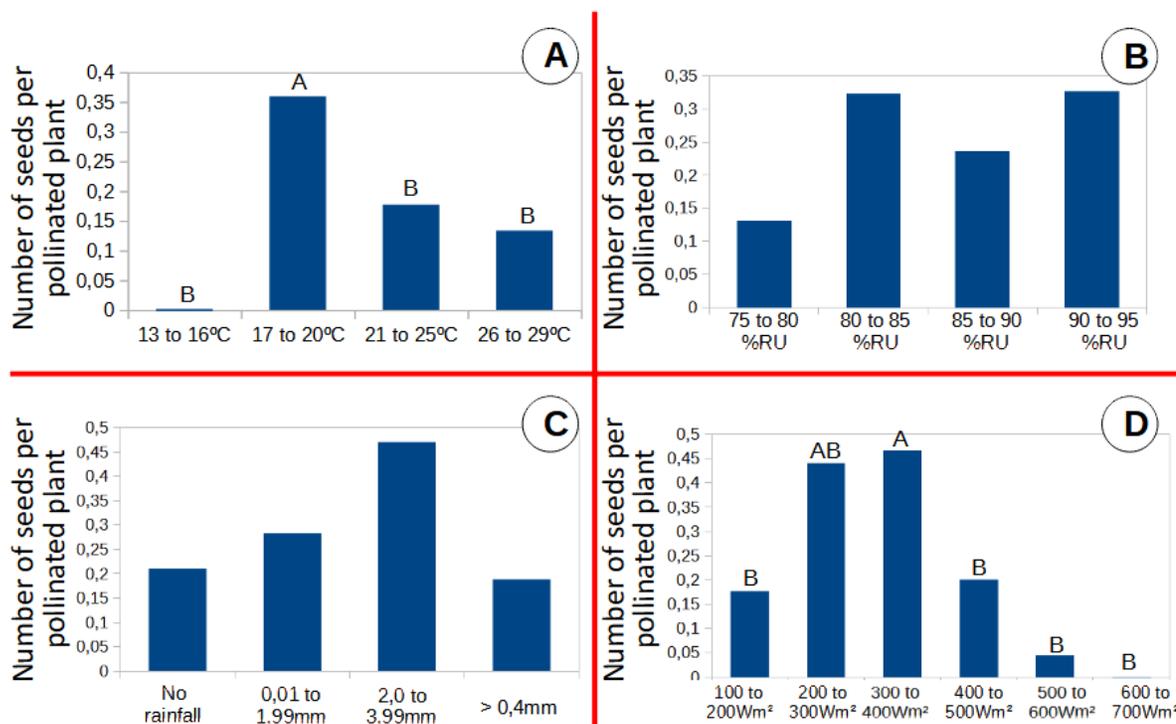


Figure 2. Number of seeds per pollinated plant in relation to different environmental factors. A) Different ranges of average temperature (°C) during the pollination period; B) Different ranges of average relative humidity (%) during the pollination period; C) Different ranges of rainfall (mm) during the pollination period; D) Different radiation bands (Wm²) during the pollination period. Means in columns followed by different letters differed by chi-square test (95% reliability).

CONCLUSIONS

Based on the results, we can observe that the frequency of complete seed formation in bananas fluctuates throughout the year and that pollination during meteorological autumn was the best time to obtain a higher frequency of complete seeds in the state of Santa Catarina, subtropical region of Brazil. However, it is not possible to say which mechanism(s) explain this seasonality; that is, whether it is due to some meteorological condition(s), or to plant nutrition (which in the subtropics, can also be linked to the meteorological condition), or both or other interactions with more factors. The difficulty in making any statement related to environmental conditions is due to the fact that the data used in this work are the morning averages of pollination periods, since in this experiment the day and time at which each hand was pollinated were not recorded. Therefore, it is suggested that future studies that wish to explore

such information consider the environmental characteristics of the moment of pollination of each hand in order to advance knowledge related to the reproductive biology of the banana tree, in particular, the optimum conditions for banana pollination.

REFERENCES

1. Beltrame AB, Peruch LA, Bonfim Junior MF, Colariccio A. 2023. Principais e potenciais doenças da bananeira. In: Guimarães GGF, Beltrame AB, Malburg JL, Maro LAC, Scherer RF, Negreiros RJZ. (Eds) Produção de banana em Santa Catarina. Epagri. Florianópolis, SC, Brazil, pp. 173-199.
2. Guimarães GGF, de Deus JAL. 2021. Diagnosis of soil fertility and banana crop nutrition in the state of Santa Catarina. Revista Brasileira De Fruticultura, 43(4), e-124. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021124>
3. Heslop-Harrison JS, Schwarzacher T. 2007. Domestication, genomics and the future for banana. Annals of Botany. 100(5):1073-1084. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm191>
4. Lichtemberg LA, Lichtemberg P dos SF. 2011. Avanços na bananicultura brasileira. Revista Brasileira De Fruticultura 33(spe1):29-36. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500005>
5. Muengkaew R, Chaiprasart P, Wongsawad P. 2017. Calcium-Boron Addition Promotes Pollen Germination and Fruit Set of Mango. International Journal of Fruit Science, 17(2): 147-158. <https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1259085>
6. Perrier X, De Langhe E, Donohue M, Lentfer C, Vrydaghs L, Bakry F, Carreel F, Hippolyte I, Horry, JP, Jenny C, Lebot V, Risterucci AM, Tomekpe K, Doutrelepon H, Ball T, Manwaring J, De Maret P, Denham T. 2011. Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication. Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America, 108(28): 1311-1318. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102001108>
7. Scherer RF, Livramento G, Sônego M. 2023. Variedades indicadas e produção de mudas. In: Guimarães GGF, Beltrame AB, Malburg JL, Maro LAC, Scherer RF, Negreiros RJZ. (Eds) Produção de banana em Santa Catarina. Epagri. Florianópolis, SC, Brazil, pp. 47-64.
8. Voora V, Larrea C, Bermudez S. 2020. Global Market Report: Bananas. IISD. (Sustainable Commodities Marketplace Series). Winnipeg: IISD. Available at: <https://www.iisd.org/system/files/publications/ssi-global-market-report-banana.pdf> Accessed on October 18, 2023.
9. Waniale A, Swennen R, Mukasa SB, Tugume AK, Kubiriba J, Tushemereirwe WK, Amah D, Tumuhimbise R. 2021. Application of Pollen Germination Media on Stigmas during Pollination Increases Seed Set in East African Highland Cooking Bananas (*Musa* spp.) Agronomy, 11(6): 1085. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061085>
10. Zheng RH, Su S, Xiao H, Tian HQ. 2019. Calcium: A Critical Factor in Pollen Germination and Tube Elongation. International journal of molecular sciences, 20(2):420. <https://doi.org/10.3390/ijms20020420>

Variabilidad espacial de propiedades fisicoquímicas en suelos bananeros de Urabá-Colombia

Juan Perez-Zapata^{1*}; Laura Delgado-Bejarano¹; Jackson Osorio-Cardona¹; Miguel Bernal-Monterrosa¹; Sebastián Zapata-Henao¹

¹Centro de Investigaciones del banano (Cenibanano) - Augura. Colombia, conjunto residencial Los Almendros km4 vía Carepa-Apartadó. Carepa, Antioquia, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Juan Perez-Zapata
suelos@augura.com.co

Contribución:

Científica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Perez-Zapata J, Delgado-Bejarano L, Osorio-Cardona J, Bernal-Monterrosa M y Zapata-Henao S. 2024. Variabilidad espacial de propiedades fisicoquímicas en suelos bananeros de Urabá-Colombia. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 7
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2407>

RESUMEN

La productividad del cultivo de banano en Urabá, Colombia, ha disminuido en los últimos años, atribuible a la degradación de los suelos. En este estudio, se evaluó el comportamiento espacial de las propiedades del suelo con el propósito de optimizar la rentabilidad del cultivo haciendo uso de la agricultura de precisión, basados en los datos obtenidos por Cenibanano. Se analizó la acidez, textura y resistencia a la penetración del suelo, encontrando en gran parte de la región niveles de acidez inadecuados producto de prácticas agronómicas. La textura varía en función de los afluentes naturales. La resistencia a la penetración aumenta con la profundidad y se relaciona con el manejo agronómico.

Palabras clave: agricultura de precisión, *Musa* spp., productividad, comportamiento espacial, Nutrición.

ABSTRACT

The productivity of banana cultivation in Urabá, Colombia, has decreased in recent years, attributable to soil degradation. This study assessed the spatial behavior of soil properties with the aim of optimizing crop profitability through precision agriculture, based on data obtained from Cenibanano. Soil acidity, texture, and penetration resistance were analyzed, revealing inadequate acidity levels in much of the region due to agronomic practices. Texture varies according to natural water sources. Penetration resistance increases with depth and is related to agronomic management.

Keywords: precision agriculture, *Musa* spp., productivity, spatial behavior, Nutrition.



INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa* spp.) es una de las frutas más comercializadas y consumidas en fresco a nivel mundial, donde Colombia ocupa el cuarto lugar los principales países exportadores de banano en Latinoamérica; siendo Urabá la principal zona productora con 33.902 ha sembradas (Asociación de bananeros de Colombia [Augura], 2023). Sin embargo, durante los últimos años se ha observado una disminución en la productividad a causa de problemáticas fitosanitarias, fenómenos climáticos y degradación del recurso suelo. Además, el aumento de la población a nivel mundial obliga al uso excesivo de recursos y una alta demanda de alimentos, lo que hace necesario optimizar la producción. Es aquí donde toma relevancia la agricultura de precisión (AP), la cual, a partir de mediciones y bases de datos, implementa tecnologías y analiza información permitiendo tomar decisiones de forma eficiente, mitigar el impacto ambiental y reducir costos de producción, generando aumento en la rentabilidad y productividad de los cultivos (Rambauth, 2021).

La acidez, la textura y la resistencia mecánica a la penetración son propiedades fisicoquímicas del suelo que tienen gran influencia sobre la productividad. La acidez del suelo se evalúa mediante el pH, propiedad química que influye sobre otras variables como disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana, siendo esta crucial en la toma de decisiones sobre los procesos de fertilización en los predios. La textura tiene gran importancia en el desarrollo del cultivo debido a la influencia que ejerce sobre la porosidad, infiltración, retención de humedad, entre otras; es una variable necesaria para el diseño y correcto funcionamiento de sistemas de riegos y drenajes. Asimismo, la resistencia a la penetración es un indicador de la compactación del suelo, que al igual que la textura influencia propiedades como la porosidad, estructura, infiltración y, además juega un papel crucial en el desarrollo radical del cultivo, debido a la impedancia mecánica (Columbi y Keller, 2019).

Por lo anterior, el Centro de Investigaciones del Banano (Cenibanano) ofrece servicios integrados de salud del suelo mediante la evaluación y análisis de estas tres variables. A partir de lo cual se obtienen mapas de variabilidad espacial y se realizan recomendaciones que le permiten a los agricultores la gestión y ejecución de actividades de manejo diferenciadas con el objetivo de obtener una mayor productividad y eficiencia de los recursos, que conlleve a una mayor competitividad del sector bananero colombiano (Centro de investigaciones del banano [Cenibanano], 2023; Pérez et al., 2022).

Para el presente trabajo se recopilamos los datos del servicio de salud del suelo desde el año 2020 hasta 2022, a partir de los cuales se realizó un análisis espacial de propiedades fisicoquímicas de los suelos bananeros de Urabá, Colombia. Con el fin de determinar su comportamiento espacial y optimizar la toma de decisiones que permitan mejorar la rentabilidad del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis de suelos se realizó en el eje bananero de la zona de Urabá ubicado en la zona noroccidental del departamento de Antioquia, Colombia. Este está conformado por los municipios de Chigorodó, Carepa, Apartadó y Turbo, los cuales cuentan con una temperatura media histórica de 27,5°C y una humedad relativa de 83%. Sin embargo, estos difieren en la precipitación media anual en donde la zona norte conformada por el municipio de Turbo presenta un valor de 2.654 mm, la zona sur conformada por Chigorodó de 3.611 mm y la zona centro compuesta por Carepa y Apartadó presenta valores de 3.301 mm y 2.720 mm respectivamente.

Desde 2020 Cenibanano ofrece el servicio de salud del suelo que consiste en la evaluación de la acidez, textura y resistencia mecánica a la penetración del suelo y a partir de estas variables se generan mapas de variabilidad espacial y recomendaciones de manejo por lote en los predios. Para la ejecución del servicio se elabora una malla de muestreo rígida a tres (3) muestras por hectárea, la cual se toma a 50 cm de la unidad productiva. La resistencia a la penetración se evalúa con un penetrológico digital marca *Eijkelkamp*, el pH se determina mediante el método potenciométrico en una relación suelo:agua de 1:1 (p:p) y la textura por el método del hidrómetro (Bouyoucos) (Jaramillo, 2014).

Con los resultados obtenidos, se genera una base de datos y mediante el software *QGIS* se realizan las interpolaciones correspondientes a cada una de las variables, posteriormente se reclasifican y se analizan en función de su aptitud para el cultivo de banano, asignando colores verdes, amarillos y rojos, los cuales hacen referencia a condiciones adecuadas, regulares y malas, respectivamente (Cenibanano, 2023). Para finalizar, en el software *ArcGIS* se diseñan los mapas de variabilidad espacial y manejo de cada uno de los parámetros.

Para el análisis espacial de los suelos del eje bananero se recopilamos los mapas de las variables textura y acidez de los predios evaluados desde el año 2020 al 2022, estos fueron unificados para detectar tendencias en su distribución espacial a lo largo

de la zona de estudio. Para la variable resistencia a la penetración, además, se elaboró una base de datos en la que se relacionaron el valor máximo obtenido en los estratos de 0 a 30, 30 a 60 y 60 a 80 cm de profundidad, esta fue analizada estadísticamente en el software R 4.3.0 aplicando una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y un análisis post-hoc de Dunn con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acidez del suelo

El 51,6 % del área evaluada presenta condiciones de pH limitantes para el desarrollo del cultivo de banano, representadas por las categorías extremadamente ácido (≤ 5.0), fuertemente ácido (5.0 - 5.5) y neutro (6.5 - 7.5). Los procesos de acidificación de suelos son generados de forma natural por la precipitación de la zona, adicionalmente, se genera un proceso de acidificación por causas antrópicas debido a la aplicación de fertilizantes (Li et al., 2021). La distribución porcentual del área se muestra en el Cuadro 1.

De acuerdo con Meng et al. (2019) altas precipitaciones ocasionan mayor lavado de bases del suelo, lo que intensifica los procesos de acidificación, sin embargo, como se visualiza en la Figura 1.A, la distribución espacial del pH en el eje bananero no responde a esta condición, posiblemente, porque son suelos que han sido de uso agrícola intensivo durante un largo período de tiempo, haciendo que esta variable no se comporte de forma natural, sino que se ve influenciada por el manejo agronómico de cada predio.

Cuadro 1. Distribución porcentual de pH en área de predios caracterizados mediante el servicio de Cenibanano en Urabá, 2020-2022.

Rango	Clasificación	Área (ha)	Distribución (%)
≤ 5.0	Extremadamente Ácido	1.870	14,0
5.0 - 5.5	Fuertemente Ácido	4.796	36,0
5.5 - 6.0	Moderadamente Ácido	4.654	34,9
6.0 - 6.5	Ligeramente Ácido	1.798	13,5
6.5 - 7.5	Neutro	219	1,6
> 7.5	Alcalino	0	0,0
Total			100,0

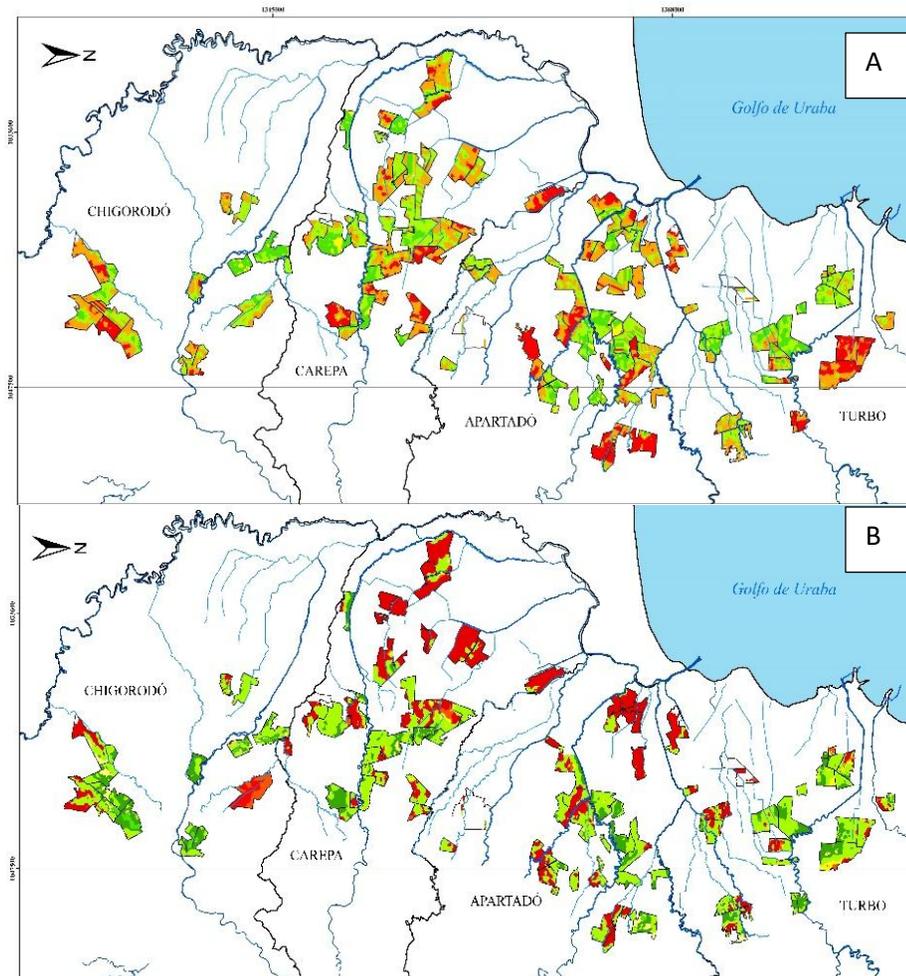


Figura 1. Distribución espacial de pH (A) y textura (B) en fincas caracterizadas mediante el servicio de Cenibanano en Urabá, 2020-2022.

Textura

El 67.3 % del área en estudio presenta texturas medias (Francas), las cuales, debido a su composición física y granulométrica, indican una buena aireación e infiltración del agua en el suelo, texturas adecuadas para la agricultura del cultivo de banano (Martínez-Herrera et al., 2016). Por otro lado, en el 32.5% del área evaluada se observan texturas limitantes debido a la cohesión de sus partículas, en donde se pueden dar menores tasas de infiltración y mayor retención de humedad, situaciones que ocasionan afectaciones en el sistema radical del cultivo y al final se traduce en disminución de la productividad. La distribución porcentual del área se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución porcentual de textura en área de Fincas caracterizadas mediante el servicio de Cenibanano en Urabá, 2020-2022.

Clasificación		Área (ha)	Distribución (%)	Clasificación		Área (ha)	Distribución (%)
F	Franca	1.726	15,1	ArA	Arcillo arenosa	5	0,0
FA	Franco Arenosa	123	1,1	AF	Arenosa Franca	0	0,0
FAr	Franco Arcillosa	5.316	46,5	ArL	Arcillo limosa	288	2,5
FArA	Franco Arcillo Arenosa	323	2,8	L	Limosa	117	1,0
FArL	Franco Arcillo limosa	210	1,8	Ar	Arcillosa	3311	29,0
FL	Franco limosa	3	0,0	A	Arenosa	0	0,0

En el análisis de textura se observa mayores contenidos de partículas finas hacia la zona occidental del eje bananero en cercanías del golfo de Urabá, donde confluyen los ríos y cuerpos hídricos de la zona. Esto se puede explicar desde los procesos de sedimentación y arrastre de partículas que se depositan en estas áreas (Figura 1.B).

Resistencia a la penetración

En el estrato de 0 a 30 cm el 49,9 % del área bajo observación se clasifica desde moderadamente firme hasta muy firmes, condiciones en la que se presentan limitantes para el óptimo desarrollo del cultivo, debido a la impedancia mecánica del suelo hacia las raíces. Para el caso del estrato 30 - 60 cm, el 87,2 % del área presenta clasificaciones limitantes para el cultivo. Finalmente, en el estrato inferior (60 – 80 cm) el 89,2 % del área presenta características restrictivas. La distribución porcentual del área se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Distribución porcentual de resistencia a la penetración en el área evaluada mediante el servicio de Cenibanano en Urabá, 2020-2022.

Rango	Clasificación	Distribución (%)		
		0-30 cm	30-60 cm	60-80 cm
≤ 1.0	Muy Friable	15,4	2,0	1,3
1.0 - 1.2	Friable	34,6	10,8	9,5
1.2 - 1.5	Moderadamente Firme	36,9	38,6	32,7
1.5 - 2.0	Firme	12,7	47,7	55,5
2.0 - 2.5	Muy Firme	0,3	0,9	0,9
2.5 - 3.0	Altamente Firme	0,0	0,0	0,0
> 3.0	Extremadamente	0,0	0,0	0,0
Total		100,0	100,0	100,0

Estos estratos de evaluación están en función de las herramientas para descompactación que se usan en la zona. En el estrato superficial (0 – 30 cm) la

herramienta manual, subsolado y renovación con maquinaria tienen influencia, para el caso del estrato de 30 a 60 cm, las herramientas manuales ya no tienen alcance. Finalmente, en el estrato inferior (60 – 80 cm) solo se ve efecto de maquinaria de renovación. En la Figura 2 se visualiza que existe una tendencia de incremento de la resistencia a la penetración con el aumento de la profundidad y esto está fuertemente ligado al tipo de manejo que se realiza en cada una de las fincas, donde principalmente se hace descompactación superficial con herramientas manuales.

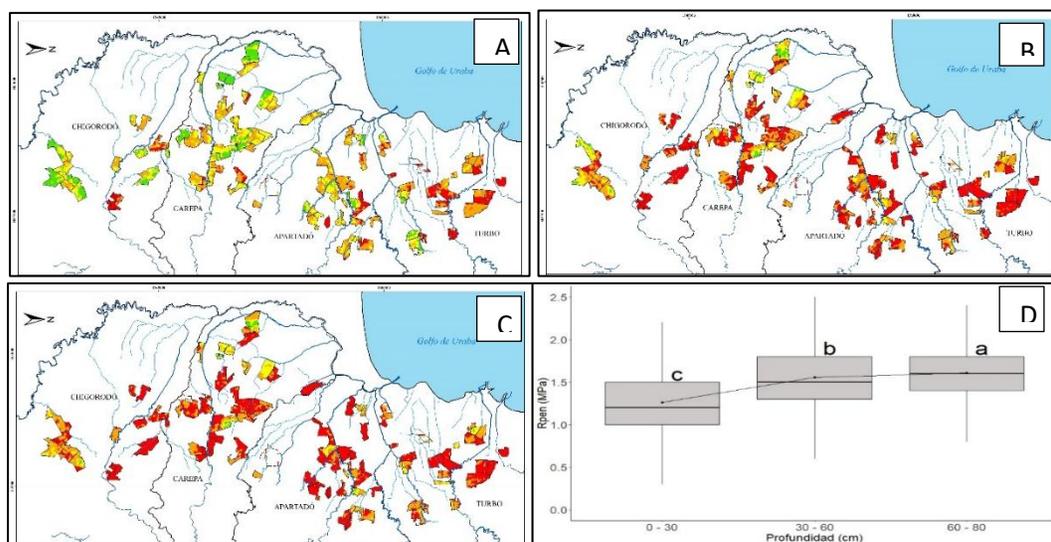


Figura 2. Distribución espacial de resistencia a la penetración en los estratos de A: 0-30 cm, B: 30-60 cm y C: 60-80 cm de profundidad en fincas caracterizadas mediante el servicio de Cenibanano en Urabá, 2020-2022. D. Resistencia a la penetración en función de la profundidad del suelo. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas. Dunn test ($p < 0.05$).

La tendencia al aumento de la resistencia a la penetración a medida que se profundiza en el perfil de suelo presenta diferencias significativas ($p\text{-value} < 0.05$). Lo que puede ser atribuible al depósito y acumulación iluvial de materiales finos en los estratos superficiales y al manejo que se realiza en los predios.

CONCLUSIONES

La variabilidad espacial de la acidez del suelo no presenta una tendencia clara y aunque ésta es afectada por diversos factores tanto bióticos como abióticos, en este caso están mayormente influenciados por las actividades propias del manejo

agronómico de las fincas tales como la aplicación de enmiendas, fertilización, aplicación de materia orgánica, entre otras. Situación similar a lo encontrado con la resistencia a la penetración en el estrato superficial, puesto que es el más accesible y económico de intervenir, siendo una de las razones por las que se presenta una tendencia al aumento de la resistencia a la penetración a lo largo del perfil. Por el contrario, la textura presenta una distribución influenciada por los cauces de los afluentes naturales de Urabá, observando un aumento en la acumulación de arcillas de oriente a occidente, guiado por las desembocaduras de los afluentes hacia el golfo de Urabá.

Se considera este documento como insumo importante en el área evaluada para el ajuste de los programas en manejo agronómico en cuanto a toma de acciones preventivas y correctivas en pro del aumento de la productividad.

REFERENCIAS

1. Asociación de bananeros de Colombia [Augura]. (2023). Coyuntura Bananera 2022-2. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2023/04/Coyuntura-Bananera-2022-2.pdf>
2. Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO); Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA). Informe Anual (2023). Urabá – Colombia.
3. Colombi, T., & Keller, T. (2019). Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction—A plant eco-physiological perspective. *Soil and Tillage Research*, 191, 156-161 Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Subdirección de agrología.
4. Jaramillo, D. F. J. (2014). *El suelo: origen, propiedades, espacialidad*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Escuela de Geociencias.
5. Li, Z., Jiao, Y., Yin, J., Li, D., Wang, B., Zhang, K., ... & Liu, Y. (2021). Productivity and quality of banana in response to chemical fertilizer reduction with bio-organic fertilizer: Insight into soil properties and microbial ecology. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107659.
6. Martínez-Herrera, J., Ramírez Guillermo, M., & Cámara-córdova, J. (2016). Innovación Tecnológica para la Seguridad Alimentaria (Issue November). Rambauth, G. (2021) “Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola”, *J. Comput. Electron. Sci.: Theory Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 37–38.
7. Meng, C., Tian, D., Zeng, H., Li, Z., Yi, C., & Niu, S. (2019). Global soil acidification impacts on belowground processes. *Environmental Research Letters*, 14(7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab239c>
8. Pérez, D. J., Bolaños-Alomia, F. A., & da Silva, A. M. (2022). Variables que influyen en la aplicación de la agricultura de precisión en Colombia: revisión de estudios. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 23(1).

Consideraciones metodológicas para el muestreo de raíces en banano

Diego Felipe Feria-Gómez ^{1*}; Luz Edith Argel-Roldan¹; Sebastián Zapata Henao¹

¹Asociación de Bananeros de Colombia - AUGURA, Centro de Investigaciones del Banano - CENIBANAO, Conjunto residencial Los Almendros, Km 4 Vía Carepa – Apartadó, Carepa (Colombia).

**Autor de*

Correspondencia:

Diego Felipe Feria-Gómez
analistafisiologia1@augura.
com.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Feria-Gómez DF, Argel-
Roldan LE y Zapata HS.
2024. Consideraciones
metodológicas para el
muestreo de raíces en
banano. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):8
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2408](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2408)

RESUMEN

El muestreo total del sistema radicular se vuelve operativamente inviable y costoso, pero mediante el muestreo representativo se puede lograr. Se tomaron porciones de suelo y raíz de 0.01m³ en tres zonas alrededor de las unidades productivas, en plantas en diferenciación con hijo en yemas y plantas en floración con hijo en F10. También se evaluaron variaciones en diferentes estados fenológicos para determinar posibles tendencias del crecimiento. Se tomaron unidades sincronizadas y desincronizadas para comparar. Se encontró que los muestreos laterales son más representativos, además no existen diferencias entre plantas en diferenciación o floración en el lateral, pero en las unidades se observa un desarrollo progresivo desde yema a cosecha.

Palabras Clave: Fenología vegetal, necrosis, nematodo, sincronización, nutrición.

ABSTRACT

Total sampling of the root system becomes operationally unfeasible and costly, but representative sampling can be achieved. Soil and root portions of 0.01m³ were taken in three zones around the production units, in plants in differentiation with son in bud and plants in flowering with son in F10. Variations in different phenological stages were also evaluated to determine possible growth trends. Synchronized and desynchronized units were taken for comparison. It was found that the lateral samples are more representative, and there are no differences between plants in differentiation or flowering in the lateral, but in the units a progressive development from bud to harvest is observed.

Keywords: Plant phenology, necrosis, nematode, synchronization, nutrition.



INTRODUCCIÓN

Para realizar seguimiento de afectaciones sobre la raíz, se han evaluado diversas metodologías, pero solo las que consisten en la extracción de porciones de suelo han representado las características reales de las raíces de la unidad productiva (Blomme *et al.*, 2003), esta metodología se ha usado en muchos países para determinar no solo la abundancia y funcionalidad de las raíces, sino también para determinar la sanidad asociada a la presencia de nematodos fitoparásitos (Castillo-Russi *et al.*, 2010; Araya y Vargas, 2018; German *et al.*, 2019; Chávez *et al.*, 2021). Vargas y Araya (2018) registran las diferencias al momento del muestreo de raíces, respecto al sitio de muestreo en plantas en floración, y recientemente Avellán-Vásquez *et al.* (2003) demostraron que las características de distribución de las raíces van a variar a medida que la fenología del cultivo cambia.

Actualmente en Colombia no existe un análisis sobre los aspectos de relevancia a la hora de realizar muestreos de raíces en el cultivo de banano, por ello, se realizó este estudio con el objetivo de esclarecer las diferencias que existen entre los diferentes sitios y estados fenológicos donde se podrían desarrollar los muestreos de raíces y nematodos, para cada una de las variedades de banano que actualmente se siembran con fines de exportación en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo de raíces se llevó a cabo en el Campo Experimental y Demostrativo ubicado en Carepa – Colombia, comprendió el muestreo de porciones de suelo con raíces de 0.01 m³, tomadas en la zona frontal, lateral y atrás, para la comparación entre sitios de muestreo; en dos fases fenológicas de la madre, floración y diferenciación (Figura 1A); en los cuatro clones de mayor importancia en las zonas productoras (Gran Enano, Williams, Giant Cavendish y Valery). Para la construcción de la curva de desarrollo radicular se muestrearon unidades productivas en ocho estados de desarrollo progresivos, desde madre en diferenciación e hijo en yema, hasta madre próxima a cosecha e hijo en F10+9 hojas emitidas (Figura 1B). También se muestrearon en el lateral unidades en sincronización y desincronización, en siete réplicas durante el año 2021, para evaluar la influencia de esta condición sobre el desarrollo.

Sobre las raíces recolectadas se realizaron análisis de abundancia, funcionalidad, necrosis, mediante la metodología propuesta por (Moens *et al.*, 2001), y extracción y

conteo de nematodos por medio de la metodología de licuado – tamizado, registrada por Taylor y Loegering en 1953 y ajustada por Araya (2002).

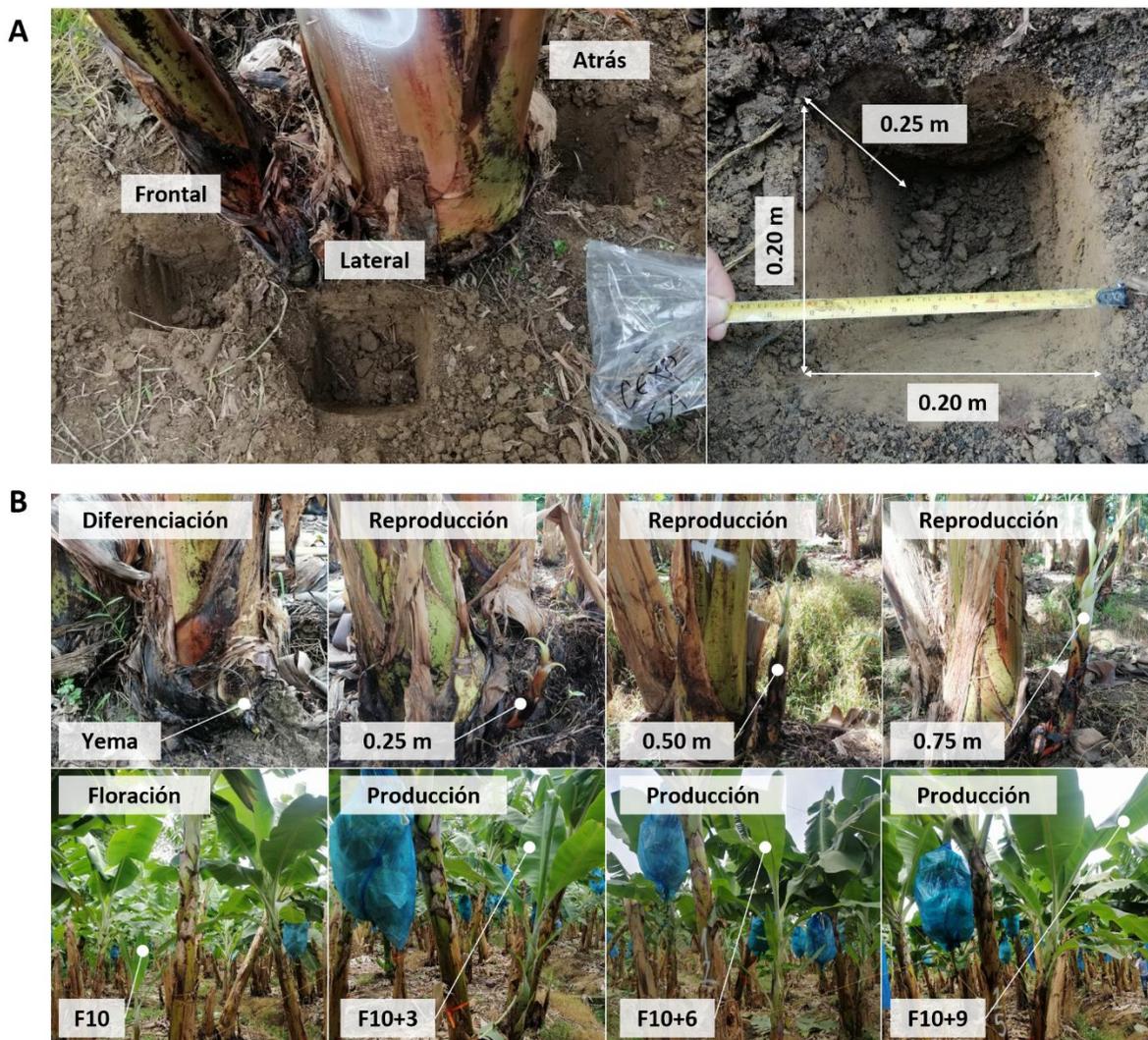
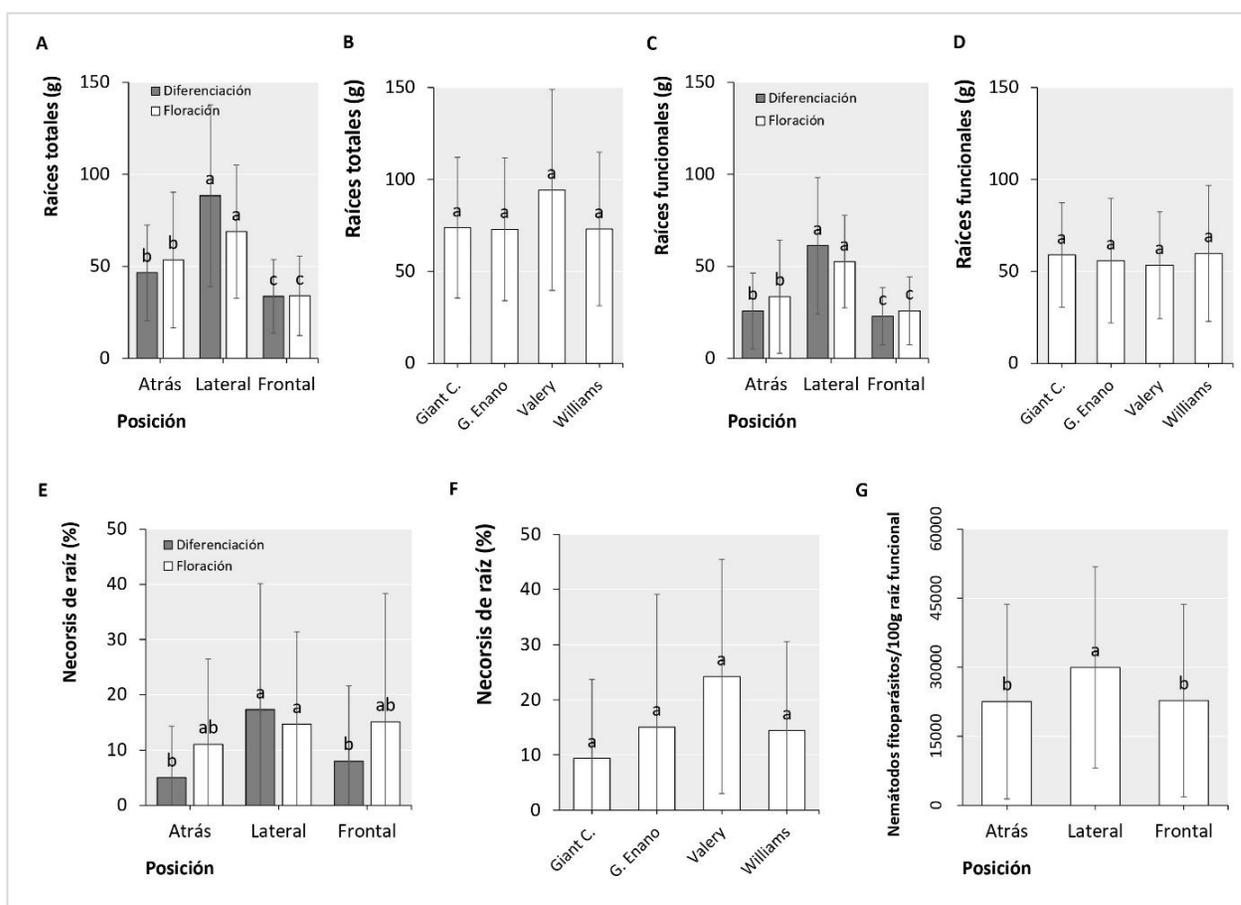


Figura 1. Sitio de muestreo de raíces en la unidad productiva y dimensiones de la porción muestreada (A). Estados de desarrollo fenológicos muestreados (B).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La abundancia y funcionalidad de las raíces es significativamente mayor en la zona lateral, lo que puede deberse a la confluencia de las raíces de la planta madre y la planta hija, este comportamiento es similar al de unidades productivas que se han

muestreado en países como Costa Rica (Vargas y Araya, 2018), pero se observa que no existe una diferencia entre fases fenológicas o entre clones. La proporción de necrosis radicular junto a al conteo de nematodos, también tiene un aumento significativo en la zona lateral, sin representar una variación entre fases o clones, que sugiere una migración de los nematodos hacia la zona lateral donde la oferta de raíces en mayor (Figura 2).



Cuando se toman muestras laterales en unidades productivas en diferentes estados de desarrollo, las raíces totales y funcionales, presentan diferencias significativas; este comportamiento muestra su punto más bajo cuando el hijo de

sucesión inicia su desarrollo en yema y su respectiva madre está en diferenciación, aumentando paulatinamente hasta llegar al máximo cuando el hijo de sucesión emite la hoja F10+9, cercano a diferenciación y madre próxima a cosecha (Figura 3).

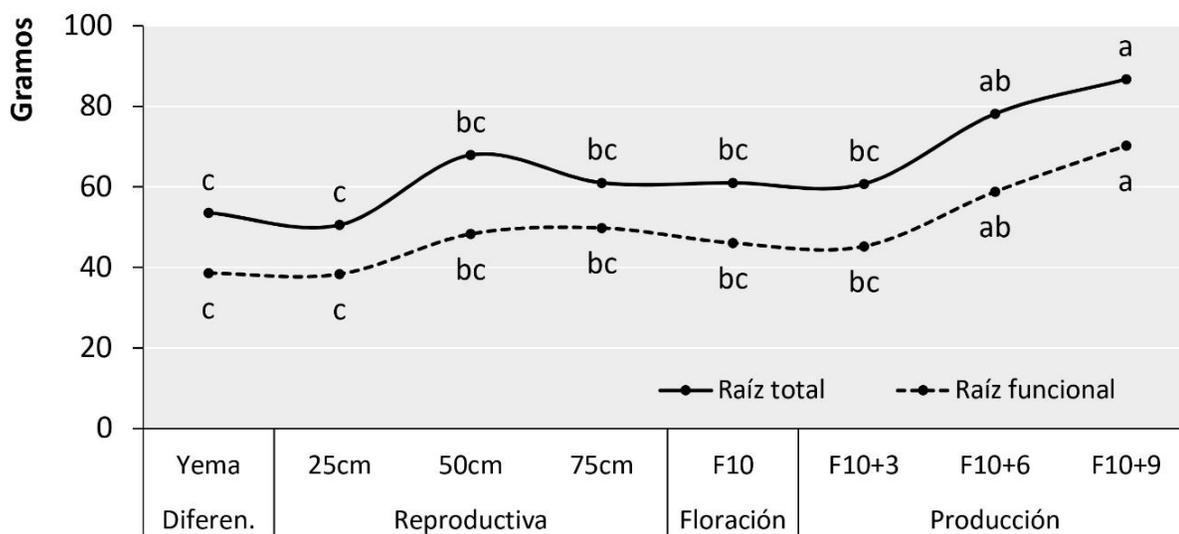


Figura 3. Abundancia de raíces y raíces funcionales en posición lateral, en unidades productivas con diferentes estados de sincronización fenológica. En los niveles, el primer nombre corresponde al estado del hijo de sucesión y el segundo al estado de la madre. a, b, c: letras diferentes difieren entre sí, según la prueba LSD t Test ($p \leq 0.05$), entre niveles de la misma variable.

Las unidades productivas que han alcanzado sincronización al momento del muestreo en el lateral, presentan un aumento significativo en las raíces totales, raíces funcionales y necrosis. Mientras que el conteo de nematodos no varía respecto a la sincronización; en las réplicas temporales, si bien siempre se cumple que las unidades productivas sincronizadas presentan mayores valores, la abundancia de las raíces tiende a variar, en las diferentes semanas del año (Figura 4), esto sugiere la influencia de otras variables.

CONCLUSIONES

Para el muestreo de raíces en plantaciones establecidas, se puede usar la metodología de la extracción de porciones de suelo, considerando hacerlo en la zona lateral de unidades productivas sincronizadas, para tener una mayor cantidad de raíces y nematodos, siendo realizable en fase de diferenciación o floración independientemente del clon.

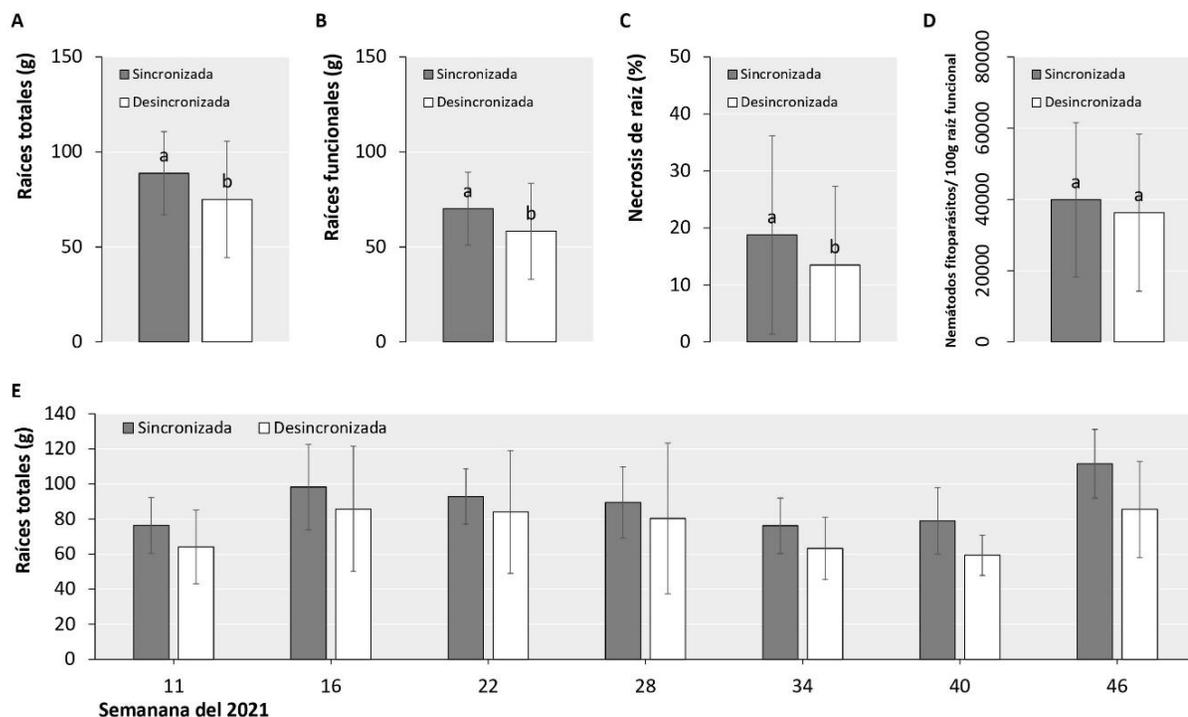


Figura 4. Efecto de la sincronización de la unidad productiva sobre la abundancia de las raíces (A), funcionalidad (B), proporción de necrosis (C), cantidad de nematodos por cada 100 gramo de raíz funcional (D), y comportamiento a través de las semanas del año (E). a, b, c: letras diferentes difieren entre sí, según la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0.05$).

REFERENCIAS

1. Araya, M. (2002). Metodología utilizada en el laboratorio de nematología de CORBANA S.A. Para la extracción de nematodos de las raíces de banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*). CORBANA 28(55): 1-16. Nematología.
2. Araya, M., & Vargas, R. (2018). Frecuencia y densidades poblacionales de nematodos parásitos en plantaciones comerciales de banano (*musa AAA*) muestreadas en el intermedio madre-hijo y al frente del hijo de sucesión. CORBANA. 44 (64): 71-96.
3. Avellán-Vásquez, L., Estévez-Chica, S., Vaca-Sotelo, D., Zambrano-Mendoza, M., Cedeño-Loor, T., & Sánchez-Urdaneta, A. (2021). Root distribution according to phenology in plantain cultivars (*Musa AAB*), Botany and Physiology. Rev. Bras. Frutic. 43 (2). <https://doi.org/10.1590/0100-29452021703>.
4. Blomme, G., Teugels, K., Blanckaert, I., Sebuwufu, G., Swennen, R., & Tenkouano, A. (2003). Methodologies for root system assessment in bananas and plantains (*Musa spp.*). In Turner, DW; Rosales, FE. eds. Banana root system: towards a better understanding for its productive management; Proceeding of an International Symposium. Montpellier, France, INIBAP. p. 43-57.

5. Castillo-Russi, J., Araya-Vargas, M., & Patiño-Hoyos, L. (2010). Respuesta a la aplicación de nematicida en banano en la zona de Urabá, Colombia. *Agronomía mesoamericana*, 21(2), 307-317. <https://doi.org/10.15517/am.v21i2.4893>
6. Chávez, C., Calderón, L., Espinosa, F., Salas, E., & Araya, M. (2021). Sucker Selection on Banana (Musa AAA cv Valery) Root Content, Nematode Populations, and Yield. *Int.J.Curr. Microbiol.App.Sci.* 10(12): 111-125. doi: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2021.1012.012>
7. German, E., Mauricio, T., Eduardo, S., & Mario, A. (2019). Chemical control of *Meloidogyne* spp. in grapevines (*Vitis vinifera*). *Journal of Applied Biosciences*, 136(1), 13896. doi:10.4314/jab.v136i1.6
8. Moens, T., Araya, M., & Waele, D. (2001). Correlation between nematode numbers and damage to banana (*Musa AAA*) roots under commercial conditions.
9. Vargas, R. & Araya, M. (2018). Contenido de raíces en plantaciones comerciales de banano muestreadas en el intermedio madre hijo y frente del hijo de sucesión. *Corbana*, 44 (64): 97-124.

Evaluation de diferentes strategies de fertilisation organique pour restaurer la fertilité des sols dans les bananeraies antillaises

Elodie Dorey ^{1,2} *; Charles Meynard ^{1,2} ; Steewy Lakhia ^{1,2} ; Marie Ruillé ^{1,2} ; Marc Dorel ^{1,2}

1CIRAD, UPR GECO, F-97130 Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe, France; 2GECO, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France.

***Autor de Correspondencia:**
Elodie Dorey

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Manejo de Suelos y Nutrición

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Dorey E, Meynard C, Lakhia S, Ruillé M et Dorel M. 2024. Evaluation de diferentes strategies de fertilisation organique pour restaurer la fertilité des sols dans les bananeraies antillaises. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1):9
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2409>



RESUMEN

En las plantaciones intensivas de banano convencionales, la fertilización, principalmente mineral, tiene como objetivo satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas, pero no asegura una reserva suficiente de materia orgánica para mantener una fertilidad adecuada del suelo. Sin embargo, el uso de fertilizantes orgánicos complica el manejo de la fertilización ya que los nutrientes proporcionados sólo están disponibles para la planta después de la mineralización de la materia orgánica por los microorganismos del suelo. Por lo tanto, el objetivo del estudio es diseñar estrategias de fertilización orgánica que permitan restablecer la fertilidad a lo largo de los años, basándose en un modelo de equilibrio húmico, validado experimentalmente en condiciones reales en cultivo de plátano.

Palabras Clave: fertilización orgánica, fertilidad, modelo, nutrición.

RÉSUMÉ

Dans les bananeraies intensives conventionnelles, la fertilisation, essentiellement minérale, vise à satisfaire les besoins nutritionnels des bananiers mais ne permet pas d'assurer un stock de matière organique suffisant pour maintenir une fertilité des sols optimale. Or, l'utilisation de fertilisants organiques complexifie le raisonnement de la fertilisation puisque les nutriments apportés ne sont disponibles pour la plante qu'après minéralisation de la matière organique par les microorganismes du sol. L'objectif de l'étude est donc de concevoir des stratégies de fertilisation organique qui permettent de restaurer la fertilité sur plusieurs années, en s'appuyant sur un modèle de bilan humique, validé expérimentalement en condition réelles sous culture de banane plantain.

Most clés: fertilisation organique, fertilité, modèle, nutriments.

INTRODUCCION

Dans les systèmes de monoculture bananière intensifs, la fertilisation est raisonnée de manière à maintenir le stock des nutriments essentiels à des niveaux élevés afin de garantir une nutrition optimale du bananier par des apports importants et fréquents d'engrais minéraux (Godefroy et Dormoy, 1983; Turner et Lahav, 1983). Cette stratégie conduit généralement à des apports de fertilisants excédant largement les capacités d'absorption du bananier, et les capacités d'adsorption du sol (Godefroy *et al.*, 1975). Ainsi, la croissance de la plante n'est jamais contrainte mais le stock de matière organique, relié à la fertilité des sols, s'appauvrit.

Aujourd'hui, l'utilisation massive d'intrants de synthèse d'origine minérale fait débat, en effet l'azote sous forme ionique NO_3 est très mobile dans les sols et participe à la pollution des nappes aquifères et à l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques. De plus, la synthèse de ces fertilisants engendre la production de gaz à effet de serre participant au réchauffement climatique (IPCC, 2022). S'ajoute à ces enjeux environnementaux le coût des intrants, en effet le prix des engrais minéraux de synthèse a largement augmenté ces dernières années, ce qui amène les agriculteurs à se tourner de plus en plus vers une fertilisation organique. Mais l'utilisation de fertilisants organiques complexifie le raisonnement de la fertilisation. En effet les éléments nutritifs apportés ne sont disponibles pour la plante qu'après minéralisation de la matière organique par les microorganismes du sol. Ce mode de fertilisation, qui permet de réduire les pertes d'éléments minéraux en favorisant leur recyclage et d'améliorer les composantes physiques et biologiques de la fertilité des sols, risque de générer des stress nutritionnels pour la culture. L'utilisation de fertilisation organique demande donc de concilier deux objectifs : (i) alimenter les microorganismes du sol hétérotrophes afin d'augmenter les services qu'ils rendent à l'agrosystème (recyclage des éléments nutritifs, amélioration de la structure du sol, régulation biologique des bio-agresseurs, etc.), (ii) mettre à disposition des plantes les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance. Il est donc nécessaire de pouvoir prédire la cinétique de minéralisation des apports organiques, qui semble être régie en grande partie par le rapport C/N des apports (Nicolardot *et al.* 2011) et la part qui contribuera à augmenter le stock d'humus du sol.

L'objectif de cette étude est d'évaluer à l'aide d'un outil de simulation de bilan humique l'évolution du stock de matière organique du sol en fonction de deux stratégies de fertilisation organique, qui privilégient l'objectif (i) ou (ii) pour une même quantité d'éléments nutritifs fournis à la culture. La 1^{ère} stratégie est basée sur l'utilisation d'un compost local, à faible cout, avec une efficacité de l'azote modéré et un fort coefficient isohumique (K1). La 2nd stratégie est basée sur l'application d'un fertilisant organique importé à fort efficacité de l'azote et d'ajout de fientes de poules.

Cette seconde stratégie a un coefficient isohumique K1 réduit mais un cout assez élevé. Ces stratégies ont d'abord été simulées en partant d'un état initial du sol dégradé présentant un faible stock de matière organique et mises en œuvre expérimentalement pour une validation en conditions réelles sous culture de banane plantain.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Structure du modèle

L'outil utilisé dans cette étude se base sur le calcul simple de bilan humique des sols selon le modèle de Hénin et Dupuis (1945) qui compare la différence entre la quantité de matière organique du sol stable produit par l'humification des matières organiques apportées et la quantité de substances humiques dégradée par minéralisation (pertes) au cours de l'année. Le rendement en humus d'une matière organique apportée (A) est estimé par son coefficient isohumique (K1), déterminé ici selon les équations de Nicolardot *et al.* (2001), basée sur le rapport C:N des apports organiques. Les pertes en humus sont déterminées par le coefficient de minéralisation K2 et sont proportionnelles au stock en place (B).

La variation de stock ΔB s'écrit alors:

$$\Delta B = k1A - k2B \quad (1)$$

avec B=stock d'humus, K1A=apports, K2B= pertes

Les coefficient iso-humiques (K1) des différents fertilisants organiques utilisés sont présentées dans le tableau 1.

Le coefficient K2 correspond au coefficient de minéralisation d'un andosol en Guadeloupe (0,01).

Le modèle est ensuite utilisé pour analyser l'évolution des teneurs en matière organique du sol en fonction des stratégies simulées et évaluées en milieu réel sur 10 ans.

Dispositif expérimental

Deux stratégies de fertilisation organique (S1 et S2) ont été mises en œuvre et évaluées au bout de 18 mois sur une parcelle expérimentale de la station CIRAD de Neufchâteau (Guadeloupe, 16° 13'N, 61° 36' W, altitude 250 m) sur une surface de 0,5ha, plantée en bananier plantain. La zone d'étude est caractérisée par un climat tropical avec une pluviométrie annuelle moyenne de 3500 mm. Le sol est classé comme andosol (WRB, 2022) et se caractérise par un pH 5,5, 62% d'argile, 32% de limon et 6% de sable, et une densité apparente de 0,8 Mg m⁻³. Chaque stratégie été répétées 5

fois sur des parcelles élémentaires 150 m². Les apports ont été calculés de manière à ce que ceux-ci fournissent annuellement une quantité d'azote minéral de 375 kg/ha.

Tableau 1. Coefficient iso-humiques (K1)

Apports organiques	K1
Fertigwa	0,171
Fiente de poules	0,128
ABFLOR 7-5-7	0,120
Résidus bananiers	0,121

Les quantités de fertilisants apportés par stratégie sont décrites ci-après :

- Fertilisation organique S1 : Apport de 8,5 kg par pied d'engrais organique local tous les 3 mois. Coût : 1000 Eur/ha/an
- Fertilisation organique S2 : Apport de 0,6 kg de fientes de poules par pied tous les 3 mois et apport mensuel de 225 g par pied d'un engrais d'importation 7-5-7 S. Coût : 4155 Eur/ha/an

Des analyses de sols ont été réalisées pour chaque parcelles élémentaires au début de l'expérimentation (T0) et 18 mois plus tard (T18) afin de comparer l'évolution du stock de matière organique du sol en fonction des 2 stratégies de fertilisation.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'évolution de la MOS (%) a été simulé d'après le modèle de bilan humique pour les 2 stratégies de fertilisation organique S1 et S2 de l'étude (Tableau 2).

On observe un accroissement plus important de la MOS (%) pour la stratégie 1, qui a pourtant une teneur initiale de MOS légèrement plus faible. Des teneurs en MOS de 7% bien que semblant élevées dans les sols non andiques, ne garantissent pas une fertilité élevée dans les andosols. En effet, dans les andosols se trouvent de fortes teneurs en allophanes qui protège la MOS de la dégradation par les microorganismes. C'est pourquoi, des teneurs en matière organique très élevées sont retrouvées en Guadeloupe comparativement à d'autres sols de régions tropicales. Malgré ces fortes teneurs initiales, l'augmentation de la MOS (%) reste très faible sur une simulation de 10 ans, avec seulement 2,25% d'augmentation pour S1 et 0,29% pour S2. Il apparaît

donc nécessaire de mettre en place des pratiques culturales qui préservent le stock de MOS, très lent à reconstituer une fois qu'il est dégradé (Ardenti *et al.*, 2023).

Tableau 2. Simulation de l'évolution de la matière organique du sol (MOS) (%) pour les stratégies de fertilisation S1 et S2 sur 10 ans.

	Strategie S1		Strategie S2	
	MOS	Stock MO	MOS	Stock MO
Année 0	6,68%	160,	7,08%	169
Année 1	6,91%	165	7,09%	170
Année 2	7,15%	172	7,10%	170
Année 3	7,41%	178	7,14%	171
Année 4	7,67%	184	7,18%	172
Année 5	7,93%	190	7,22%	173
Année 6	8,18%	196	7,26%	174
Année 7	8,43%	202	7,30%	175
Année 8	8,68%	208	7,33%	176
Année 9	8,93%	214	7,37%	176

Une évaluation du statut organique du sol a été effectuée 18 mois après le début de l'application des stratégies S1 et S2 (Figure 1).

On constate également un accroissement plus important de la teneur en MOS avec la stratégie 1 comme le prévoyait les simulations par le modèle. Bien qu'initialement les parcelles élémentaires recevant la stratégie 1 aient des teneurs en matière organique plus faibles, après 18 mois les teneurs en matière organique sont équivalentes dans les deux stratégies. L'engrais organique utilisé dans la stratégie 1 enrichit la matière organique du sol. Sa dynamique de minéralisation, lente et progressive, conduit à une faible quantité d'azote biodisponible potentiellement lessivable. En revanche, l'engrais organique importé utilisé dans S2 a un coefficient d'équivalence fertilisante élevé, puisqu'en 90 jours, le rapport entre la quantité d'azote minéral libérée et fournie est presque équivalent à celui de l'engrais minéral (0,75 vs 0,92) (Dorel *et al.*, 2023). Mais son pouvoir amendant reste faible et S2 ne semble pas la stratégie la plus avantageuse pour restaurer la fertilité d'autant plus qu'elle se base sur des apports d'engrais d'importation avec un coût élevé (4,5 fois plus cher que S1). L'accroissement des teneurs semblent cependant plus rapide que les prévisions du modèle. Ceci s'explique par le fait que les mesures ont été effectuées au pied des

bananiers dans la zone d'épandage des fertilisants organiques alors que le modèle simule l'évolution des teneurs sur l'ensemble de la parcelle.

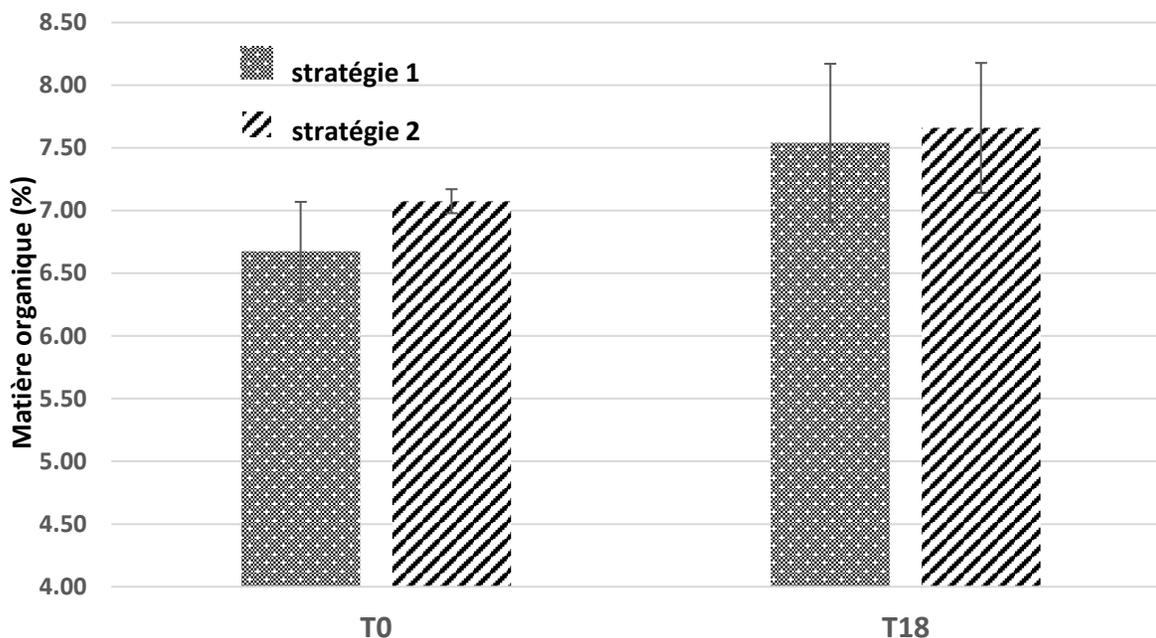


Figure 1. Comparaison du statut organique du sol en début d'expérimentation (T0) et 18 mois plus tard (T18) en fonction des stratégies de fertilisation S1 et S2 appliquées.

CONCLUSION

Avec le développement de systèmes agroécologiques, accroître et maintenir un niveau idéal de MOS est une priorité dans la conception de stratégies de fertilisation. Seule la fertilisation organique permet d'enrichir la MOS et de restaurer les fonctionnalités des sols afin de maintenir une fertilité des sols optimale et ne pas impacter à terme, les rendements. L'utilisation d'un outil de simulation semble pertinente pour élaborer des stratégies de fertilisation organique en fonction du statut organique initial des parcelles et des objectifs de production, qui font souvent l'objet de compromis entre maintenir un stock de MOS élevé tout en assurant la nutrition des bananiers.

REFERENCIAS

1. Ardenti F, Capra F, Lommi M, Fiorini A, Tabaglio, V. 2023. Long-term C and N sequestration under no-till is governed by biomass production of cover crops rather than differences in grass vs. Legume biomass quality. *Soil and Tillage Research*, 228, 105630.
2. Dorel M, Lakhia S, Achard R. 2023. Mineral nutrition of banana in organic agriculture. *Acta Horticulturae*, 1367, 87-96.
3. Hénin S and Dupuis M. 1945. Bilan de la matière Organique des sols. *Ann. Agron*,1: 17-29.
4. Godefroy J. 1975. Estimation des pertes par les eaux de ruissellement et de drainage des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie du sud de la Côte d'Ivoire. *Fruits*, 30(4), 223-235.
5. Godefroy J and Dormoy M. 1983. Dynamique des éléments minéraux fertilisants dans les sols des bananeraies martiniquaises. *Fruits*, vol 38, n° 5 et 6, pp 373- 387 et 451-459.
6. IPCC. 2022. *Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the IPCC Sixth Assessment Report.*
7. Nicolardot B, Recous S, Mary B. 2001. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. *Plant Soil* 228 (1), 83–103.
8. Turner DW and Lahav E. 1983. The growth of banana plants in relation with temperature. *Aust. J. Plant Physiol.* 10, 43–53.
9. WRB. 2022. *Banane, Analyse du Marché 2020.* Rome: Food and Agric. Organisation of the UN (FAO).

Efecto de dosis de nitrógeno sobre peso de racimo de banano y variables de crecimiento: Hacia uso eficiente del Nitrógeno

Jaime Torres Bazarro^{1*}, Danilo Sánchez²

¹Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia; ²Gerente Regional de Agronomía Yara Colombia.

**Autor de*

Correspondencia:

Jaime Torres Bazarro
jtorresb@unal.edu.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Torres BJ y Sánchez D.
2024. Efecto de dosis de
nitrógeno sobre peso de
racimo de banano y
variables de crecimiento:
Hacia uso eficiente del
Nitrógeno. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1):10
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2410](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2410)

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la respuesta del peso del racimo, de variables de crecimiento y la eficiencia agronómica del uso del nitrógeno, bajo diferentes dosis de este nutriente. Se empleó un DBCA, con cinco tratamientos (testigo absoluto, 0, 161, 321,8 y 483 kg ha⁻¹ de N) y cuatro repeticiones. Se evaluó el peso del racimo (kg), altura (m) y circunferencia del pseudotallo a la emergencia del racimo (m). Se calculó el incremento marginal del peso, el que aumentó significativamente hasta los 322 kg de Nitrógeno, con la misma tendencia para la ganancia de peso del racimo, altura y circunferencia del pseudotallo, dosis superiores mostraron incrementos no significativos.

Palabras Clave: Uso Eficiente del Nitrógeno (EUN), Fertilización nitrogenada, Fisiología vegetal, Nutrición.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the response of the weight of the bunch, growth variables and the agronomic efficiency of nitrogen use under different doses of this nutrient. A DRCB was used, with five treatments (absolute control, 0, 161, 321.8 and 483 kg ha⁻¹ of N) and four replications. Cluster weight (kg), height (m) and pseudostem circumference at cluster emergence (m) were evaluated. The marginal increase in weight was calculated, which increased significantly to 322 kg of nitrogen, with the same trend for the weight gain of the bunch, height and circumference of the pseudostem, higher doses showed non-significant increases.

Keywords: Nitrogen use efficiency (NUE), nitrogen fertilization, Plant physiology, Nutrition.



INTRODUCCIÓN

En los sistemas productivos de banano, se tienen como objetivos mejorar los rendimientos y mantener costos razonables, sin embargo, la variabilidad climática los ha impactado negativamente con una reducción de los rendimientos, al mismo tiempo que el sector agrícola contribuye al menos con un 13% de emisiones totales de gases de efecto de invernadero (GEI), responsables en parte de esta variabilidad climática (Vallejo *et al.*, 2017). El nitrógeno (N) es uno de los nutrientes más requeridos por el cultivo y en muchas ocasiones el más limitante de la producción; sin embargo, un alto porcentaje de la cantidad suministrada de N se pierde, generando contaminación ambiental, gases de efecto invernadero y pérdidas económicas. Las emisiones de N_2O el 58% del total de las emisiones de origen humano (Vallejo *et al.*, 2017). El N_2O se produce de forma natural en los suelos a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación, que se ven influidos significativamente por los aportes de nitrógeno al suelo a través de fertilizantes minerales, por el momento y la frecuencia de aplicación, por las precipitaciones, el contenido de agua del suelo y la hidrología local, las temperaturas del suelo y los nutrientes (Govindasamy *et al.*, 2023; Laing *et al.*, 2023; Sadeghian-Khalajabadi *et al.*, 2022; Vallejo, *et al.*, 2017). Ante este panorama, se hace prioritaria la adopción de prácticas para aumentar la eficiencia del uso del nitrógeno.

En la investigación agronómica, los siguientes índices son utilizados para evaluar la eficiencia de nutrientes aplicados, factor parcial de productividad, balance parcial de nutrientes, eficiencia agronómica, eficiencia de nutrientes, eficiencia de utilización interna y eficiencia fisiológica (Govindasamy *et al.*, 2023; Sadeghian-Khalajabadi *et al.*, 2022). Es necesario considerar que una parte del N que entra en el sistema se retira del campo en forma de biomasa cosechada. Al mismo tiempo, la cantidad contenida en los cultivos se incorpora al suelo y se recicla, formando parte de la materia orgánica (MO) y de las reservas de N inorgánico. Sin embargo, otro componente, llamado N reactivo, no se recupera y se pierde del sistema en formas inorgánicas reducidas (por ejemplo, NH_3 y NH_4^+), formas inorgánicas oxidadas (por ejemplo, NO_x , HNO_3 , N_2O , y NO_3^-), y compuestos orgánicos (p. ej, urea, aminas y proteínas) (Sadeghian-Khalajabadi *et al.*, 2022).

La aplicación de fertilizantes se constituye en una de las principales fuentes de contaminación del suelo, del agua y del aire y, la mayor fuente de emisión de gases de efecto invernadero del sector bananero y, por lo tanto, el punto crítico de mayor atención para los proyectos de reducción ya que además la cuantificación de las huellas

de carbono se convierte en un requisito de las normas de certificación para la exportación del banano (Govindasamy *et al.*, 2023; Vallejo, *et al.*, 2017).

El rendimiento de los bananos puede incrementarse mediante el uso de fertilizantes minerales, pero la eficiencia agronómica del uso de los fertilizantes debe conocerse para una aplicación adecuada que maximice el uso por el cultivo y reduzca a la mínima expresión las pérdidas del nutriente al medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en la región del Urabá del departamento de Antioquia, Colombia, en el campo experimental de AUGURA (Carepa, Antioquia), lotes 3 y 4, 7°46'46" N y 76°40'20" W y 20 m.s.n.m. Los suelos fueron Fluventic Eutrudepts fino, franco arcilloso, sobre arcilloso Fluvaquentic Eutrudept, y franco fino Vertic Endoaquept, de acuerdo con las clasificaciones del USDA (Soil Survey of the United States). Las condiciones climáticas de la zona fueron 23,2 °C de temperatura mínima y 32,3 °C temperatura media del aire (con una media regional de 27 °C); 87% de humedad relativa del aire; y brillo solar medio 5 h d-1.

Las evaluaciones se realizaron sobre plantas de banano (*Musa* AAA Simmonds) subgrupo Giant Cavendish, clon Williams. Los contenidos iniciales de nitrógeno disponible en el suelo fueron bajos (<1,8%), lo que permitió establecer la dosis de 321.8 kg/ha como dosis base y a partir de la cual se definieron los diferentes tratamientos. Se establecieron cinco tratamientos: testigo absoluto (no se aplicó fertilizante), 0, 161, 321,8 y 483 kg ha⁻¹ de N. Adicionalmente, todas las plantas, excepto el testigo absoluto, recibieron las siguientes cantidades de fertilizantes por ha: 87,1 kg P₂O₅, 678,8 kg K₂O, 50,5 kg CaO, 117,5 kg Mg, 64,2 kg S; 1,4 kg de B y 9,3 kg de Zn. La fertilización se aplicó tomando en cuenta los ciclos y proporción de nutrientes establecidos para la región por CENIBANANO (Sánchez y Mira, 2013), excepto el Nitrógeno por ser el elemento para evaluar, los ciclos de fertilización se realizaron cada tres semanas y el programa se mantuvo de esta manera durante tres años consecutivos.

En el campo, se tuvo en cuenta la variabilidad edafoespacial, estableciendo cuatro repeticiones en el espacio (bloques) con los tratamientos aleatorizados dentro de los bloques. Los bloques se distribuyeron en función de las unidades taxonómicas del suelo, y cada bloque tenía un conjunto completo de tratamientos. Cada tratamiento

correspondía a la unidad denominada "botalón", que tenía 1563 m² y tenía en promedio 250 plantas de banano.

A partir del segundo año del inicio de implementación los tratamientos se inició la cosecha de la fruta para evaluar el efecto de los tratamientos, Durante 18 diferentes semanas se evaluaron las variables de rendimiento peso de racimo (kg) y numero de manos y las variables de crecimiento altura de planta (m) y circunferencia del seudotallo al momento de la emisión de la inflorescencia. En total se evaluaron 2826 plantas con sus respectivos racimos. El propósito de tomar 18 semanas fue poder capturar la variabilidad temporal asociada a las condiciones ambientales.

Se realizó el análisis de comparación de medias y el análisis de varianza entre los tratamientos. Se graficaron utilizando EXCEL los resultados de las variables por tratamientos y la dispersión expresa la variabilidad presentada durante las 18 semanas de toma de datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al finalizar el ensayo, se encontró que a cosecha las plantas de banano para los cuatro ciclos acumularon entre 131,7 y 301,5 kg N *ha⁻¹ *año. La dosis de 321,8 kg N *ha⁻¹ acumuló para estos cuatro ciclos, entre 234,1 y 256,1 kg N *ha⁻¹ *año, en planta y, de 17,8 y 30,5 kg N *ha⁻¹ *año en racimo, la de 483 kg N *ha⁻¹, acumuló de 217,9 a 301,5 kg N *ha⁻¹ *año, en planta y de 21.1 a 30,5 kg N *ha⁻¹ *año en racimo.

Peso de racimo y número de manos

Se encontró que hay una respuesta en el peso de los racimos al incrementar las dosis de nitrógeno, sin embargo, esta respuesta es significativa hasta la dosis de 322 kg N *ha⁻¹ *año⁻¹, en la dosis más alta no se encontró un aumento significativo (Figura 1). Este aumento del peso puede explicarse en parte por el incremento del número de manos por racimo debido a que esta variable tuvo el mismo comportamiento que el peso (Figura 2). El número de manos es parte de los componentes que explican el peso del racimo, los otros componentes son, número de dedos/mano y peso de los dedos del racimo los cuáles no se evaluaron en forma separada en la presente investigación.

Los resultados encontrados son explicados por las dosis de nitrógeno y concuerda con lo encontrado por Nyombi *et al.* (2010), quienes demostraron, trabajando con

bananos de montaña, que los pesos de los racimos y su comportamiento mejoraron con el aporte de fertilizantes y esto se evidencio en los sucesivos ciclos de cultivo. Al contrario, Fratoni *et al.* (2017), utilizando el promedio de dos temporadas de cultivo encontraron que el peso del racimo y el rendimiento no se vieron influidos por las dosis de N y K₂O. De allí la importancia de realizar trabajos regionales para evaluar el uso eficiente de los nutrientes bajo las condiciones específicas de cada región.

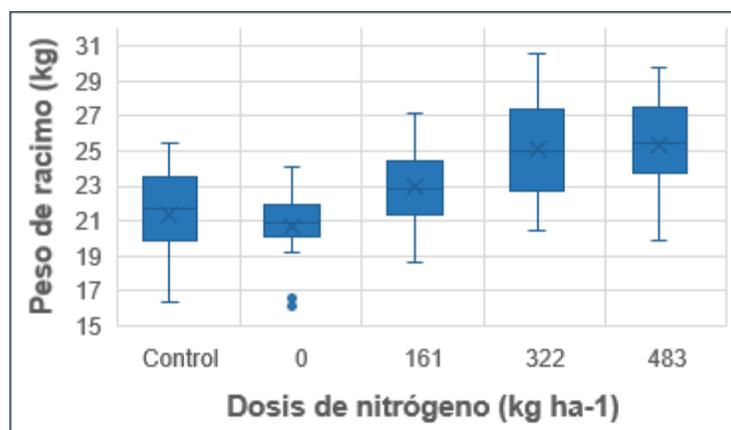


Figura 1. Peso promedio de racimo (kg) por dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹)

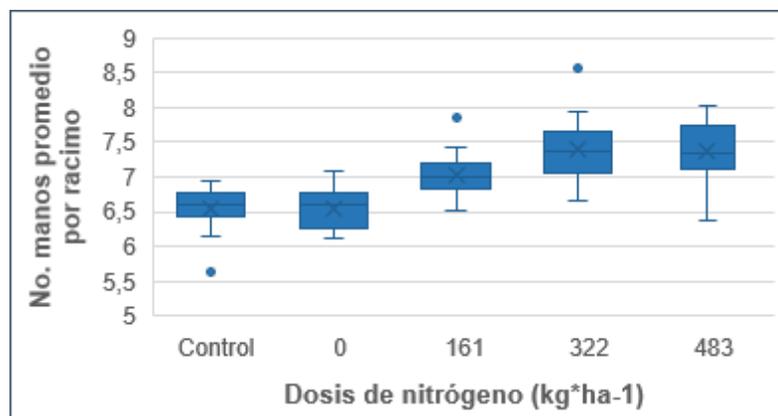


Figura 2. Numero promedio de manos por racimo por dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Altura y circunferencia a emisión del racimo y número de hojas a cosecha

Se encontró un incremento positivo en la altura (figura 3) y circunferencia de la planta (figura 4) hasta 322 kg*ha⁻¹ de nitrógeno, por encima de este valor no hay respuesta en estas variables. La altura y la circunferencia son expresiones del vigor de la plantación que está directamente relacionado con la producción en el cultivo del

banano. La importancia del nitrógeno en banano ha sido respaldada por múltiples trabajos de campo y de investigación, entre ellos lo reportada por Keshavan *et al.* 2011, quienes trabajando con diferentes niveles y fuentes de nitrógeno encontraron una mejor respuesta en términos de crecimiento, rendimiento, parámetros fisiológicos, contenido de nutrientes foliares, con la utilización de diferentes fuentes de nitrógeno en comparación con el uso de una única fuente de N.

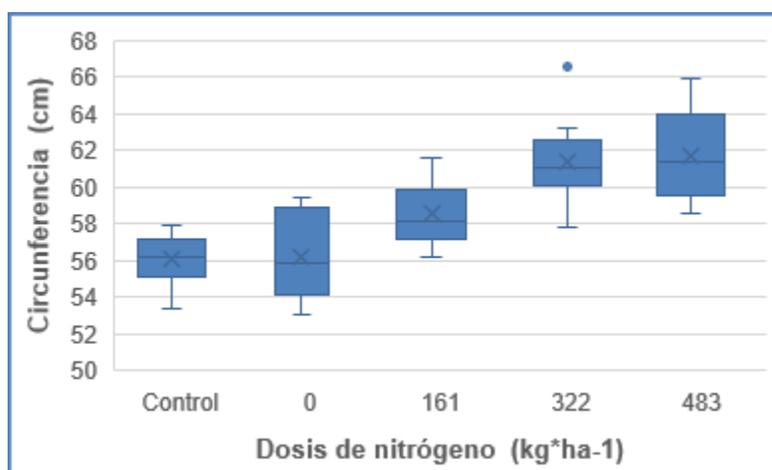


Figura 3. Circunferencia promedio de plantas de banano a emisión de racimo (cm) por dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

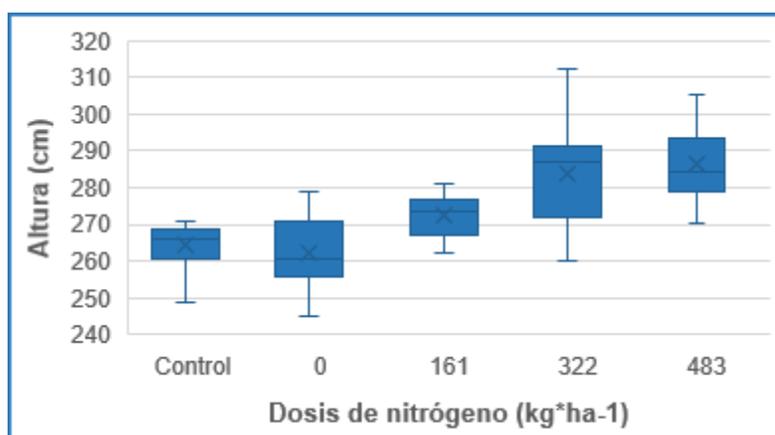


Figura 4. Altura promedio de plantas de banano (cm) a de emisión de racimo por dosis de nitrógeno (kg ha⁻¹).

Eficiente Uso del Nitrógeno (EUN)

En la figura 5, podemos observar que con la aplicación de 161 kg de N hay un incremento en el peso de los racimos de 13,96 gramos por cada kilogramo de Nitrógeno

aplicado, con la aplicación de 322 kg la ganancia fue de 13,53 g/kg de N aplicado, pero con un aporte de 483 kg la ganancia en el peso del racimo fue solo de 1,26 gramos/kg de N aplicado. El aumento marginal del peso del fruto por racimo por cada kilogramo adicional de nitrógeno no es significativo, de 332 a 483 kg N * ha⁻¹ * año⁻¹.

El objetivo de mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) es fundamental en sistemas productivos como parte de la gestión agronómica (Govindasamy *et al.*, 2023). Los principales procesos responsables del bajo uso del N son la volatilización, la escorrentía superficial lixiviación y desnitrificación del N. La mejora de la EUN mediante prácticas de gestión agronómicas y tecnologías de alto rendimiento reduciría la necesidad de una aplicación intensiva de N y minimizaría el impacto negativo del N en el medio ambiente (Laing *et al.*, 2023).

El manejo inadecuado del nitrógeno en los cultivos tiene efecto por incidir en la reducción del rendimiento del cultivo, si no se realizan aportes adecuados en nitrógeno que mejoren la productividad del cultivo, por eso la importancia del conocimiento sobre la acumulación de materia seca, el patrón de absorción de nutrientes y la movilidad de los nutrientes para optimizar la aplicación de fertilizantes y reducir pérdidas económicas asociados al costo del fertilizante aplicado y que no es utilizado eficientemente lo cual puede considerarse una pérdida de insumos (2013; Jeyabaskaran *et al.*, 2021).

Desde el punto de vista ambiental el exceso de nitrógeno en el suelo puede resultar tóxico para otros componentes del suelo, lo que provoca una disminución de la salud del suelo, genera acidificación del suelo por la reacción propia de la nitrificación en los fertilizantes ureicos y amoniacales. El exceso de fertilizantes puede llegar a las aguas superficiales a través de la escorrentía, provocando la proliferación de algas nocivas y afectando a la vida acuática al consumir oxígeno durante la descomposición de la materia orgánica. Otro aspecto de gran relevancia es que dosis inadecuadas de nitrógeno incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que el uso de fertilizantes nitrogenados dependiendo el origen, es proporcional a las emisiones de óxido nitroso (Huang *et al.*, 2022).

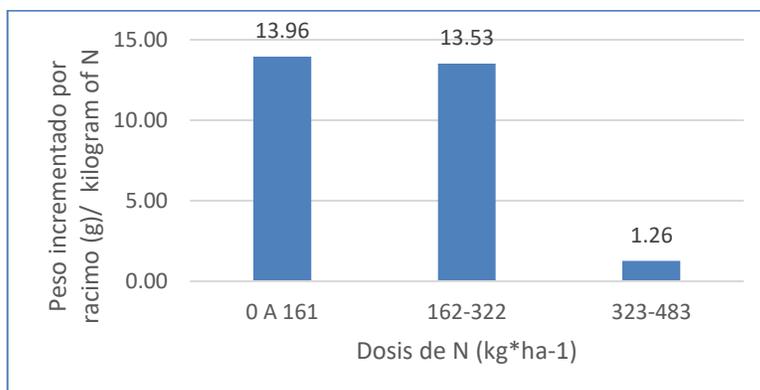


Figura 5. Eficiencia agronómica de uso del nitrógeno por dosis empleada (kg ha⁻¹).

CONCLUSIONES

La respuesta de cultivo del banano a los aportes creciente de nitrógeno se expresó en el incremento del peso de racimo y en las variables de crecimiento altura y circunferencia de pseudotallo al momento de la emisión de la inflorescencia. No obstante, la respuesta se da hasta un nivel de nitrógeno a partir del cual estas variables no se incrementan significativamente.

Se pudo determinar la eficiencia agronómica para diferentes niveles de aplicación de nitrógeno en el peso del racimo. A partir de 322 kg de nitrógeno la eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno se reduce. Esta caracterización es importante porque al reducirse la eficiencia del uso agronómico de nitrógeno se incrementa la posibilidad de pérdida del nutriente al ambiente, con mayores pérdidas económicas para los productores y mayor afectación sobre el medio ambiente.

REFERENCIAS

1. Fratoni, M. M. J., Moreira, A, Moraes, L. A. C., Almeida, L. H. C. & Pereira J. C. R. 2017. Effect of Nitrogen and Potassium Fertilization on Banana Plants Cultivated in the Humid Tropical Amazon. COMMUNICATIONS IN SOIL SCIENCE AND PLANT ANALYSIS 2017, VOL. 48, NO. 13, 1511–1519. M. M. J.
2. Govindasamy P, Muthusamy SK, Bagavathiannan M, Mowrer J, Jagannadham PTK, Maity A, Halli HM, G. K. S, Vadivel R, T. K. D, Raj R, Pooniya V, Babu S, Rathore SS, L. M and Tiwari G (2023)

- Nitrogen use efficiency—a key to enhance crop productivity under a changing climate. *Front. Plant Sci.* 14:1121073. doi: 10.3389/fpls.2023.1121073.
3. Huang, L., Cheng, S., Liu, H., Zhao, Z, Wei, S, Sun, S. 2022. Effects of nitrogen reduction combined with organic fertilizer on growth and nitrogen fate in banana at seedling stage. *Environmental Research* 214 (2022) 113826.
 4. Jeyabaskaran, K.J., Pitchaimuthu R., Kumar V. & Uma S. 2021. Nutrient uptake and Accumulation Patterns in Banana cv. Rasthali (AAB) with respect to Dry Matter Production at Critical Growth Stages. *Communications in soil science and plant analysis* 2021, VOL. 52, NO. 21, 2724–2731.
 5. Keshavan, G., Kavino, M & Ponnuswami, V. 2011. Influence of different nitrogen sources and levels on yield and quality of banana (*Musa* spp. *Archives of Agronomy and Soil Science* Vol. 57, No. 3, May 2011, 305–315.
 6. Laing, A, Eckard, R, Smith A, Grace, P. 2023. Twenty years of nitrous oxide emissions research in Australian agriculture: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 356 (2023) 108638.
 7. Nyombi, K., Van Asten, P.J.A., Corbeels M., Taulya G., Leffelaar P.A., Giller K.E... 2010. Mineral fertilizer response and nutrient use efficiencies of East African highland banana (*Musa* spp., AAA-EAHB, cv. Kisansa. *Field Crops Research* 117 (2010) 38–50.
 8. Sadeghian-Khalajabadi, S.; Acuña-Zornosa, J.-R.; Salazar-Gutiérrez, L.-F.; Rey-Sandoval, J.C. (2022). Determinants of nitrogen use efficiency in coffee crops. A review. *Revista de Ciencias Agrícolas.* 39(2): 198-219.
 9. Sánchez, T.J.D. and J. Mira. 2013. *Principios para la nutrición del banano.* AUGURA; Cenibanano, Medellín, Colombia.
 10. Vallejo- Chaverri, A.L., Vallejo Solís MA., Nájera-Fernández, J. Garnier Zamor, L.A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera.* © FAO y GIZ. ISBN 978-92-5-130108-1 (FAO).

Efecto de la inclusión de la fertilización foliar dentro del manejo fitosanitario sobre parámetros del rendimiento de banano en Ecuador (2020 -2023)

Guido Alexander Zurita^{1*}; Andrés Darío Zurita¹

¹Agroambiente, Estación Experimental Bana Field, Ecuador

*Autor de

Correspondencia:

Guido Alexander Zurita
alexanderzurita@agroambiente.com.ec

Contribución:

Tecnológica
Sección:
Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

15 Abril, 2024

Cita:

Alexander ZG y Darío ZA.
2024. Efecto de la inclusión
de la fertilización foliar
dentro del manejo
fitosanitario sobre
parámetros del rendimiento
de banano en Ecuador
(2020 -2023). *Acorbat
Revista de Tecnología y
Ciencia* 1(1): 11
<https://doi.org/10.62498/AR-TC.2411>

RESUMEN

Se analizaron dos ciclos de evaluación de dos formulaciones de fertilizantes foliares a base de CaO, MgO, Zn y B a diferentes dosis, frecuencias de aplicación, incorporados en el programa de aplicaciones con aceite parafínico. En el primer ciclo, el tratamiento T₆ (SCa+1.0 L ha⁻¹) mostró un efecto significativo en número de hojas, el contenido de clorofila en la hoja 4, el diámetro de los dedos, el peso del racimo y la ratio. Durante el segundo ciclo, al analizar la interacción en el análisis de varianza, tanto aritmético como multivariado, se identificaron como los tratamientos más efectivos en términos de variables de crecimiento y producción a T₅: SC+1.0 L ha⁻¹+7 aplicaciones y T₆: SC+1.0 L ha⁻¹+8 aplicaciones.

Palabras Clave: Williams, microelementos en hoja, estabilidad de mezclas, Nutrición.

ABSTRACT

Two evaluation cycles of two formulations of foliar fertilizers based on CaO, MgO, Zn and B at different doses, application frequencies, incorporated into the paraffinic oil application program were analyzed. In the first cycle, T₆ treatment (SCa+1.0 L ha⁻¹) showed a significant effect on number of leaves, the chlorophyll content in leaf 4, the diameter of the fingers, the weight of the cluster and ratio. During the second cycle, when analyzing the interaction in the analysis of variance, both arithmetic and multivariate, the most effective treatments in terms of growth and production variables at T₅ were identified: SC+1.0 L ha⁻¹+7 applications and T₆: SC+1.0 L ha⁻¹+8 applications.

Keywords: Williams, leaf minerals, mix stability, Nutrition.



INTRODUCCIÓN

Una estrategia efectiva para mejorar la aplicación de fertilizantes implica la fragmentación, tanto edáfica como foliar, durante etapas específicas del desarrollo fenológico. Las suspensiones concentradas son una alternativa en la nutrición foliar que permiten que las plantas utilicen los nutrientes de manera óptima porque se liberan gradualmente (Patiño, 2019).

Es así como aplicaciones foliares de calcio, mejoran procesos de división y elongación celular (Abarca, 2017). El boro actúa en actividad enzimática, síntesis de proteínas, elongación del tubo polínico, y, por supuesto, en la calidad y rendimiento del fruto (Siddique et al., 2020). Durante fases críticas como la floración y la formación de frutos, las aplicaciones foliares de boro, cobre, magnesio, manganeso y zinc son mucho más efectivas a nivel foliar, con una efectividad de 10 a 20 veces superior en comparación con la aplicación edáfica (Rokaya et al., 2019).

En tanto que, una de las complicaciones previo a la aplicación de fertilizantes foliares y bioestimulantes en banano se relaciona con la compatibilidad de la mezcla con aceite parafínico y fungicidas. Se ha observado que algunos compuestos de estos productos propician la formación de precipitados, lo que resulta en variaciones en el pH de la mezcla (Azofeifa et al., 2010). En ocasiones, la inclusión de estos productos en los planes de manejo, entre ellos los quelatos, se restringe a los meses de menor precipitación (Avilés, 2022). Esto se debe a que, en ausencia de la posibilidad de realizar mezclas adecuadas, los productos deben aplicarse de forma individual, lo que conlleva un aumento de los costos de producción.

De tal modo que la generación de nuevos productos para aplicación foliar involucra el uso de tecnologías que permitan la estabilidad de la mezcla con fungicidas y aceite. Para lo cual es primordial conocer los efectos de cada producto en función de la dosis y frecuencia de aplicación, pruebas de compatibilidad. El tipo de formulación influye de forma determinante en alcanzar una adecuada mezcla, sin reducir la eficacia del fungicida, mientras se obtiene estabilidad.

Es por ello, que el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de aplicaciones foliares de dos formulaciones, ambas a base de: CaO, MgO, Zn y B; a diferente dosis, frecuencias de aplicación. Incorporado en un programa de aplicaciones convencionales con aceite parafínico para medir su respuesta en la fase de crecimiento, severidad de sigatoka negra y rendimiento de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la provincia de Esmeraldas, cantón Quinindé, parroquia La Unión durante noviembre 2020 a agosto 2021 (primer ciclo de cultivo, R0) y junio 2022 a mayo 2023 (plantas generación R3). Se registró el promedio de las siguientes variables climáticas durante el primer período: 24.9 °C, humedad relativa 91.5 % y precipitación 2420 mm. Mientras que en el segundo período: 24.82 °C, humedad relativa 93.26 % y precipitación 1985 mm.

Las evaluaciones se llevaron a cabo en la Estación Experimental Banana Field de la empresa Agroambiente. El sitio de experimentación tiene un suelo Fluventic Eutrudepts (KGDQ) de textura franca, estructura tipo granular a bloques subangulares, de tamaño medio y de grado moderado. El análisis químico a 30 cm de profundidad mostró: pH 6.86, N 0.16 %, P 19.5 mg kg⁻¹, K 0.91 cmol kg⁻¹, Ca 11.81 cmol kg⁻¹, Mg 1.44 cmol kg⁻¹, Zn 5.83 mg kg⁻¹.

Para los dos ciclos de evaluación, el material vegetal utilizado fue la variedad Williams, que provino de meristemos. Las plantas se trasplantaron con una distancia de siembra de 2.5 m (plantas) x 2.5 m (filas) en un esquema tres bolillos. Al igual que recibieron fertilización edáfica base, labores culturales y control fitosanitario de acuerdo con buenas prácticas agrícolas. Las unidades experimentales estuvieron delimitadas por plantas de *Pennisetum purpureum* x *Pennisetum typhoides* con la finalidad de evitar interferencia entre tratamientos. Los experimentos se diseñaron bajo un esquema de bloques completos al azar (DBCA), con 10 plantas por cada parcela.

En el primer ciclo se evaluaron tres dosis (0.5, 1 y 1.5 L ha⁻¹) y dos formulaciones diferentes [1: Suspensión Concentrada (SC); 2: Suspensión Concentrada con una fracción de aceite (SCa)] a base de CaO 28.6 %, MgO 16.6 %, Zn 15.7 % y B 1.7 % en seis momentos de aplicación, con un testigo y un comparativo comercial a base de quelatos: Ca, Mg, B y Zn, con un total de nueve tratamientos.

Para el segundo ciclo, se utilizó el T₃ (SC+1.0 L ha⁻¹) por la estabilidad de la mezcla con fungicidas. Se evaluó diferente número de aplicaciones foliares dentro de un programa fitosanitario (4, 5, 6, 7 y 8 aplicaciones ciclo⁻¹), dos tratamientos adicionales con fertilizante (Fert.) a dosis media y baja, un testigo sin nutrición foliar y un programa referencial de quelatos: Ca, Mg, B y Zn.

Las aplicaciones iniciales se realizaron con equipo pulverizador de CO₂ con boquillas Magnojet de ultra bajo volumen, para simular un gasto de agua de 22 a 23 L

ha⁻¹. Las últimas aplicaciones, se efectuaron con nebulizadores Stihl (Modelo SR-430) con válvulas de ultra bajo volumen para el mismo gasto de agua. Todas las aplicaciones se dirigieron a las hojas: bandera, 1, 2 y 3. Para la preparación de mezclas se utilizó un agitador profesional BOECO OST 25, a 1500 revoluciones por minuto (rpm), para cumplir con el proceso previo de agitación similar a las aplicaciones comerciales.

En el primer ciclo, se realizaron análisis foliares de acuerdo con el método de Calderón y Olarte, (2002); López y Espinosa, (1995) después de 10 días de cada aplicación hasta el momento de parición de las plantas. Las variables altura de planta, número de hojas, circunferencia de pseudotallo, contenido de clorofila en hojas 2, 3 y 4 (Dispositivo atLEAF) fueron evaluadas cada tres semanas en cada planta. Al momento de la cosecha, se registró longitud y diámetro de dedos, número de manos racimo⁻¹, peso de manos, número de dedos por mano, peso de racimos y ratio (cajas racimo⁻¹).

Una vez con los datos de los dos ciclos de experimentación, se realizó la verificación de las pruebas de homogeneidad de varianzas y normalidad de errores. De ahí se continuó con el análisis de varianza por variable y se aplicaron pruebas de comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estabilidad física de las mezclas

Se determinó la estabilidad de la formulación SC en varias mezclas con los fungicidas más utilizados del mercado. El pH estuvo en un rango de 4.23 a 4.95, lo cual es común para las aplicaciones aéreas. Por lo general, los agroquímicos se ven afectados en pH superior a 7.5 sufriendo una rápida degradación (Deer y Beard, 2001; Azofeifa et al., 2010). Se registró estabilidad de la mezcla (SC + diferentes fungicidas) a los 30 a 45 minutos. Mientras que existió un segundo grupo con una estabilidad menor a 15 minutos (Cuadro 1). Por otro lado, las mezclas de los tratamientos con quelatos + fungicidas, tuvieron una separación inmediata desde el primer minuto.

La evidencia mostró que los programas de nutrición foliar (Formulación SC) evaluados durante el segundo ciclo fueron compatibles con el manejo fitosanitario para el control de sigatoka negra. Además, que mantuvieron los niveles de control en la misma categoría estadística que sin la aplicación de nutrientes para las variables estado evolutivo (preaviso biológico) (P= 0.3069) y promedio ponderado de infección (Stover

modificado) ($P= 0.3396$). Incluso se registró una leve disminución de la enfermedad en los tratamientos que tuvieron elementos menores en la formulación SC.

Cuadro 1. Estabilidad y desempeño de mezclas de ingredientes activos con la formulación SC.

Mezcla	Fungicidas (Ingrediente activo)	
	30 a 45 minutos	< 15 minutos
1	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Mancozeb 600 g/L, SC
		Pyrimethanil 600 g/L, SC
2	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Fenpropimorph 375 g/L
		Pyraclostrobin 100 g/L, EC
3	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Fenpropimorph 880 g/L, OL
		Metiram 700 g/kg, WG
4	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Diethofencarb 250 g/L, SC
		Pyrimethanil 600 g/L, SC
5	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Pyrimethanil 600 g/L, SC
		Mancozeb 600 g/L, SC
6	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Fenpicoxamid 130 g/L, SC
		Mancozeb 600 g/L, SC
7	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Epoxiconazole 75 g/L, EC
		Pyrimethanil 600 g/L, SC
8	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Diethofencarb 250 g/L, SC
		Pyrimethanil 600 g/L, SC
8	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Metiram 700 g/kg, WG
		Mancozeb 600 g/L, SC
8	Swinglea glutinosa 967 g/L, SL	Isopyrazam 125 g/L, EC
		Pyrimethanil 600 g/L, SC

Crecimiento vegetativo

En los dos ciclos de experimentación (2020-2021 y 2022-2023) no registraron diferencias estadísticas entre tratamientos (p -valor <0.05) para altura de planta y circunferencia de pseudotallo.

Para la variable número de hojas existió diferencia estadística en el primer ciclo, al aplicar la formulación “SCa” con la dosis media [1 L ha^{-1}] (T_6 : 12.72 hojas planta⁻¹) superior al T_1 (testigo absoluto: 11.59 hojas planta⁻¹) y T_9 (Comercial: 11.55 hojas

planta⁻¹). En tanto que, para contenido de clorofila, tuvo significancia en la hoja N° 4 para el mismo tratamiento T₆ (73.13 µg cm⁻²) contrastado con el T₁ (70.93 µg cm⁻²).

Se infiere que este aumento podría haber ocurrido como consecuencia de la fertilización foliar, porque la presencia del elemento magnesio, es un componente fundamental de la clorofila, la molécula responsable del color verde en las plantas. (Balarezo, 2018).

Análisis foliar

Para el primer ciclo, se identificó diferencia estadística en el contenido de zinc para el T₄ (SC 1.5 L ha⁻¹: 43.45 ppm) en comparación con el T₁ (testigo absoluto: 18.28 ppm). Todos los tratamientos tratados fueron superiores al T₁. Por lo contrario, para concentración de hierro, destacó estadísticamente el T₈ (Fertilización con quelatos), T₆ (SCa+1.5 L ha⁻¹) y T₄ (1.5 L ha⁻¹) contratado con el T₁ y el resto de los tratamientos. En calcio y magnesio hubo incrementos comparados con el T₁, aunque no presentaron interacciones entre tratamientos (p=0.7728 y p=0.4041 respectivamente).

Variables productivas

Diámetro de dedos: Para el primer ciclo, se evidenció diferencia significativa para tratamientos (p= 0.0113), destacándose el T₆ (SCa+1.0 L ha⁻¹) en comparación con el T₁ (testigo absoluto). Todos los tratamientos tuvieron valores superiores a T₁. Por otra parte, para el segundo ciclo no existieron diferencias (p= 0.4090).

Longitud de dedos: no existió diferencia estadística para los dos ciclos de evaluación (p= 0.4252 y p= 0.3353).

Peso de manos y número de dedos mano-1: no se identificaron diferencias estadísticas en ninguno de los dos ciclos (p-valor <0.05). No obstante, se observó que los tratamientos T₅ (SCa 0.5 L ha⁻¹), T₆ (SCa 1.0 L ha⁻¹) y T₇ (SCa 1.5 L ha⁻¹) mostraron valores superiores a la media general y T₁ en el primer ciclo.

Peso de racimos: Se evidenció diferencia estadística entre tratamientos para el primer ciclo destacando el T₆ (30.66 kg racimo⁻¹) en comparación con el T₁ (26.27 kg racimo⁻¹) y T₉ (28.23 kg racimo⁻¹). Mientras que para el segundo ciclo de evaluación no existió diferencia significativa para tratamientos, sin embargo, todos los tratamientos tratados tuvieron incrementos porcentuales superiores al T₁ en 10.25 (T₆: 8 aplicaciones), 10.95 (T₅: 7 aplicaciones) y 15.54 (T₃: 5 aplicaciones).

Ratio (cajas racimo⁻¹): durante el primer ciclo se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p = 0.0485$). El T₆ se ubicó en el primer rango (1.09 cajas racimo⁻¹), seguido de T₅ (SCa+0.5 L ha⁻¹), T₇ (SCa+1.5 L ha⁻¹), T₄ (SC+1.5 L ha⁻¹) y T₂ (SC+0.5 L ha⁻¹) con 1.00, 0.97, 0.99 y 0.90 cajas racimo⁻¹ respectivamente. El último rango fue para el T₁ (testigo) con 0.83 cajas racimo⁻¹. En cuanto al segundo ciclo, no se identificaron diferencias estadísticas ($p= 0.8104$) sin embargo, se evidenció un incremento notable en la media global. Lo cual se ha visto en bananeras comerciales a partir de la generación R1. Del mismo modo, los tratamientos tratados T₄ (1.36 cajas racimo⁻¹: 6 aplicaciones), T₅ (1.44 cajas racimo⁻¹: 7 aplicaciones), T₆ (1.43 cajas racimo⁻¹: 8 aplicaciones) fueron superiores al T₁ (testigo: 1.26 cajas racimo⁻¹). La aplicación de los nutrientes en forma de quelatos con cinco aplicaciones mostró valores superiores al testigo y se presentó en un nivel comparable con seis aplicaciones de la formulación SC.

Análisis multivariado

Los análisis comparativos arrojan información de tipo visual, de ahí que la figura multivariada correlaciona las variables analizadas con los tratamientos en estudio. En el análisis del segundo ciclo (Biplot), los puntos amarillos representan las variables analizadas y los puntos de color azul a los tratamientos.

Se observan las variables productivas peso de racimo, peso de manos, número de dedos, ratio, mismas que se encontraron asociadas a los tratamientos de mayor número de aplicaciones por ciclo (T₅: SC+7 app y T₆: SC+8 app). Para el tratamiento T₁ (testigo), no se encontró asociado a ninguna de las variables productivas y más bien relacionado con la variable de peso de desecho. Lo cual implica un efecto favorable del programa de aplicación de nutrientes vía foliar en el incremento de la calidad de los frutos (Figura 1), contrario a los hallazgos de Pérez (2017) que reportó mayores valores de desecho con aplicaciones foliares de Ca + B.

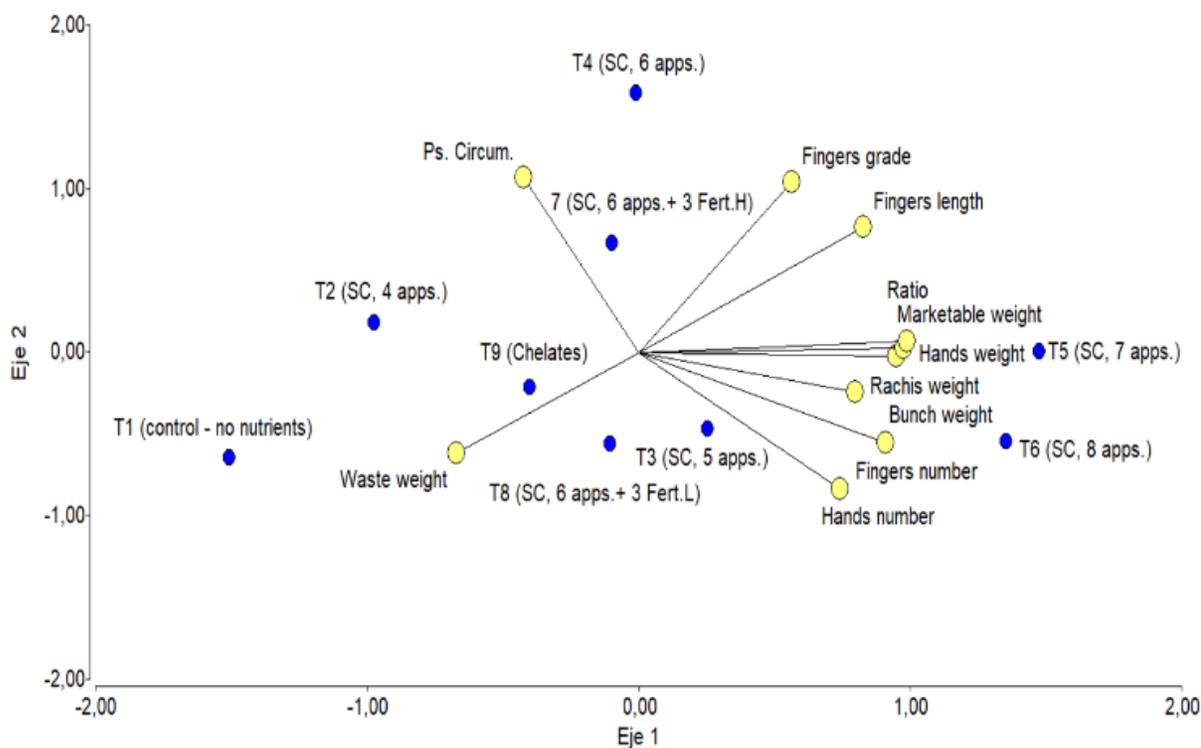


Figura 1. Análisis multivariado Biplot del segundo ciclo

CONCLUSIONES

Los programas de nutrición foliar con la formulación SC, fueron compatibles con el manejo fitosanitario para el control de sigatoka negra porque se mantuvieron los niveles de control en la misma categoría que sin la aplicación de nutrientes.

Para el primer ciclo, existió efecto significativo del tratamiento T₆ (SCa+1.0 L ha⁻¹) para número de hojas, contenido de clorofila hoja 4, diámetro de dedos, peso racimo y ratio.

Para el segundo ciclo, los mejores tratamientos en términos de las variables de crecimiento y producción, analizando su interacción en el análisis de varianza, aritmético y multivariado fueron T₅: SC+7 app y T₆: SC+8 app.

REFERENCIAS

1. Abarca, J. (2017). Efecto de la fertilización con calcio en la fruta de banano (*Musa* AAA cv. Gal) para el control de la mancha de madurez. Universidad de Costa Rica.
2. Avilés, M. (2022). Estudio de la frecuencia de aplicación de abono foliar mediante el uso de avioneta en plantaciones de banano (*Musa* AAA) en Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo.
3. Azofeifa, D., Martínez, I., Furcal, P., Serrano, E., & Guzmán, M. (2010). fertilización foliar con Ca, Mg, Zn y B en banano (*Musa* AAA, CV. Grande naine): Efecto sobre la severidad de la sigatoka negra, el crecimiento y la producción. *CORBANA*, 49–65.
4. Balarezo, R. (2018). Efecto de la aplicación de un fertilizante foliar de lenta liberación aplicado en una plantilla de banano *Musa* spp. Universidad Técnica de Machala.
5. Calderón, F., & Olarte, S. (2002). Métodos de muestreo foliar.
6. Deer, H., & Beard, R. (2001). Effect of water pH on the chemical stability of pesticides.
7. Gómez, D., Sánchez, J., Velásquez, J., Gamboa, J., & Bedoya, C. (2011). Influencia del balance con micronutrientes (B-Zn) en la productividad del banano y la severidad de *Mycosphaerella fijiensis*. *Ingenierías & Amazonia*, 4(2), 88–102.
8. López, A., & Espinosa, J. (1995). Manual de fertilización y nutrición en banano.
9. Patiño, O. (2019). Suspensiones concentradas: una alternativa con muchas ventajas en la nutrición foliar. Metroflor Agro.
10. Pérez, J. (2017). Efecto de la aplicación de calcio y boro, sobre la calidad y rendimiento del fruto de Banano (*Musa* spp) en el cantón Baba, Provincia de Los Ríos. Universidad Técnica de Babahoyo.
11. Siddique, M. A., Saqib, M., Abbas, G., Wahab, H. A., Ahmad, N., Khalid, M., & Akhtar, J. (2020). Foliar and soil-applied micronutrients improve yield and quality of kinnow (*Citrus reticulata* Blanco). *Pakistan Journal Agriculture Science* 57(6), 1539-1547.
12. Rokaya, P., Baral, D., Gautam, D., Shrestha, A., & Paudyal, K. (2019). Effects of foliar application of urea and micronutrients on yield and fruit quality of mandarin (*Citrus reticulata* blanco). *Journal of Agriculture and Forestry University*, 3, 63.

Efecto de la aplicación foliar de zinc sobre la calidad del fruto del banano: la relación entre dosis y frecuencia de aporte en las épocas críticas de desarrollo del cultivo

Álvaro Henao Ortiz¹, Fabian Fonseca Mercado¹, J. Danilo Sánchez Torres².

¹C.I UNIBAN; ²Yara Colombia.

***Autor de**

Correspondencia:

Álvaro Henao Ortiz
ahenao@uniban.com.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Henao OA, Fonseca MF y Sánchez TJD. 2024. Efecto de la aplicación foliar de zinc sobre la calidad del fruto del banano: la relación entre dosis y frecuencia de aporte en las épocas críticas de desarrollo del cultivo.

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 12

<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2412>



RESUMEN

Se realizó un ensayo comparativo en dos lotes comerciales de banano con aplicaciones foliares de Zinc y un testigo sin aplicación. Las aspersiones se realizaron en la época seca del Urabá Antioqueño con mayores limitantes para la toma de nutrientes desde el suelo y de movilidad de nutrientes asociado a factores ambientales. Se evaluaron los desórdenes fisiológicos de formación de fruta, iniciando desde 26 semanas. El período de evaluación fue de 11 semanas. La evaluación se realizó mediante la metodología de análisis de desperdicio de fruta cosechada. Se encontraron diferencias a través del tiempo en la cantidad de fruta rechazada en los tratamientos sin aplicaciones de zinc Foliar. Esto fue explicado por la mayor cantidad de fruta con desórdenes de formación en el periodo de diferenciación y crecimiento de la bacota. Una parte de los desórdenes de formación están relacionados con el aporte nutricional de zinc al cultivo. El peso de los dedos deformes en el área no aplicada (superior), presentó en 7 semanas de evaluación un total de 10,4 Kg. De otro lado, el sector aplicado con zinc presentó 2,15 Kg.

Palabras Clave: Nutrición con zinc, Zinc foliar, Desordenes de formación de fruta.

ABSTRACT

A comparative trial was carried out in commercial banana lots with foliar applications of Zinc and a control without applications. The spraying was done in the dry season of Urabá Antioqueño with greater limitations for nutrient uptake from the soil and greater limitations of nutrient mobility associated to environmental factors. Fruit formation disorders were evaluated, and this began 26 weeks after the first applications, the evaluation period was 11 weeks. The evaluation was carried out using the methodology of wastage analysis of harvested fruit. Differences were found in the amount of rejected fruit between treatments, being higher in the treatment without foliar zinc applications. This was explained by the greater amount of fruit with formation disorders in the treatment without zinc applications. Part of the formation disorders are related to the nutritional supply of zinc to the crop. The weight of the deformed, which corresponded to the non-applied sector (upper), presented 10.4 Kg in 7 weeks of analysis. On the other hand, the sector applied with zinc presented 2.15 Kg.

Keywords: Zinc nutrition, Foliar zinc, Fruit formation disorders.

INTRODUCCIÓN

La actividad bananera presenta grandes desafíos, algunos de carácter global como la pérdida del precio del banano en los mercados internacionales, lo que se presenta sistemáticamente desde 1988. Igualmente, el incremento de los costos de producción, el impacto del clima y aspectos de carácter macroeconómico, que no son controlados por el productor (Augura, 2023; Bebbber, 2022; FAO, 2023), no obstante, aspectos relacionados con el manejo agronómico para mejorar la productividad del cultivo en las épocas de mejor precio, deben ser considerados en nuestros cultivos. En la región de Urabá, la pérdida estimada de fruta que no cumple los requerimientos de calidad es equivalente a 7 millones de cajas de banano (cajas de 18,6 kg de fruta), esto representa alrededor del 10% del peso cosechado. Esta pérdida en postcosecha de banano está relacionada con los estándares en los mercados, en términos de su longitud y diámetro de la fruta, sanidad y apariencia de la misma.

Muchos de estos problemas son el reflejo de procesos fisiológicos de división, expansión y fortalecimiento celular donde el zinc juega un rol muy importante, y por ello la estrecha relación con el componente nutrimental de las plantaciones (Sánchez y Mira, 2013). La deficiencia de zinc está asociada con desórdenes por mala formación del racimo y manos, generando una menor distancia entre éstas, dando a los racimos un aspecto compacto, lo que conlleva a un incremento de fruta con cicatrices por crecimiento, lo que comúnmente no se evalúa.

Las plantas con deficiencia de zinc manifiestan atrofiamiento del crecimiento, las hojas se vuelven lanceoladas, estrechas y amarillentas, con rayas cloróticas entre las venas secundarias y coloración amarilla en la superficie inferior de la hoja, principalmente en la vena primaria (Moreira & Fageria, N.K, 2009).

La absorción de zinc por la raíz presenta limitantes en los suelos tropicales, por la adsorción e inmovilización del zinc en suelos que contienen minerales arcillosos, óxidos de hierro y carbonatos de calcio (Cakmak *et al*, 2023). Adicionalmente la toma de zinc y traslocación es inhibida por altas concentraciones de bicarbonatos. Los síntomas de deficiencia de zinc son más severos bajo condiciones de alta intensidad lumínica, siendo un nutriente que tiene importantes funciones para mitigar el estrés en las plantas (Cakmak *et al*, 2023).

Por su importancia fisiológica para el desarrollo del cultivo y por las limitaciones de absorción radicular del elemento, la aplicación foliar es una importante alternativa para el cultivo de banano. El complemento de la nutrición con zinc requiere el conocimiento sobre las dosis, la época, la frecuencia, la fuente y la estrategia apropiada con el objetivo de mejorar el rendimiento del cultivo y la eficiencia en el uso de este nutrimento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó en una finca que exporta con la comercializadora C.I. Uniban, ubicada en el municipio de Apartadó, Antioquia, Colombia, donde fue evaluada la aplicación de Zinc foliar con una fuente de YaraVita Zintrac en el clon Valery, contrastando un área aplicada y otra sin la aplicación del nutrimento. El lote contó con una densidad de siembra de 1.650 plantas/ha.

Las aspersiones se realizaron desde la semana 47 de 2020 hasta la semana 11 de 2021 con una frecuencia de aspersión de 11 días, para un total de igual número de aplicaciones. El periodo seleccionado para las aspersiones foliares cubrió los periodos húmedo y seco de la región de Urabá. Durante estas épocas de aplicación hubo contraste en la toma de nutrientes desde el suelo, de movilidad y redistribución de nutrientes.

Se utilizó como fuente de aporte de zinc una suspensión concentrada de zinc, denominada comercialmente como YaraVita Zintrac. La dosis empleada en cada aspersión fue de 500 cc * ha⁻¹.

Cuadro 1. Volumen de ingrediente activo de Zinc aplicado.

CRITERIO	VALOR/UNIDAD (0.37 Has)	VALOR/UNIDAD (1 Ha)
Área aplicada	3.100 m ²	10.000 m ²
Número de ciclos	11	11
Volumen mezcla	18 litros (H ₂ O + i.a. Zn)	58 litros (H ₂ O + i.a. Zn)
Ingrediente activo Zn / Ciclo	153 cc	493 cc
Total Ingrediente activo Zn / 11 ciclos.	1.683 cc	5.423 cc

La evaluación de los racimos comenzó 26 semanas después de la primera aplicación, desde la semana 21 hasta la semana 31 de 2021, tomando los períodos de verano e invierno y épocas de diferenciación floral, para estimar el impacto del estrés hídrico en la formación de la fruta.

Las evaluaciones se concentraron en aquellos defectos derivados de la deficiencia del elemento, como son pachas, peguetas, peinetas, dedos deformes e intrusos, tomando los desperdicios de ambos lotes, los que se analizaron a través de perfil de fruta y análisis de su desperdicio. Luego de 8 semanas de las aspersiones con zinc, se tomaron muestras foliares, determinando en dos estratos foliares el contenido de los nutrimentos, representados por la hoja 3 y 6 de ambos tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación de nutrientes entre el tejido foliar

Al comparar el contenido de zinc en el tejido foliar de la hoja 3 de plantas aplicadas y sin aplicar, se encontró un contenido similar para la hoja 3, con una concentración de $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de materia seca. Al comparar este resultado con el encontrado en la hoja 6, se encontró una diferencia más amplia y mayor contenido del nutriente ($\Delta 26 \text{ mg kg}^{-1}$) Figura 1. Lo anterior se explica principalmente por la baja movilidad del elemento dentro de la planta, lo que hace que se acumule en las hojas de mayor edad, tras las sucesivas aplicaciones de zinc foliar (Moreira & Fageria, 2009; White & Ding 2023).

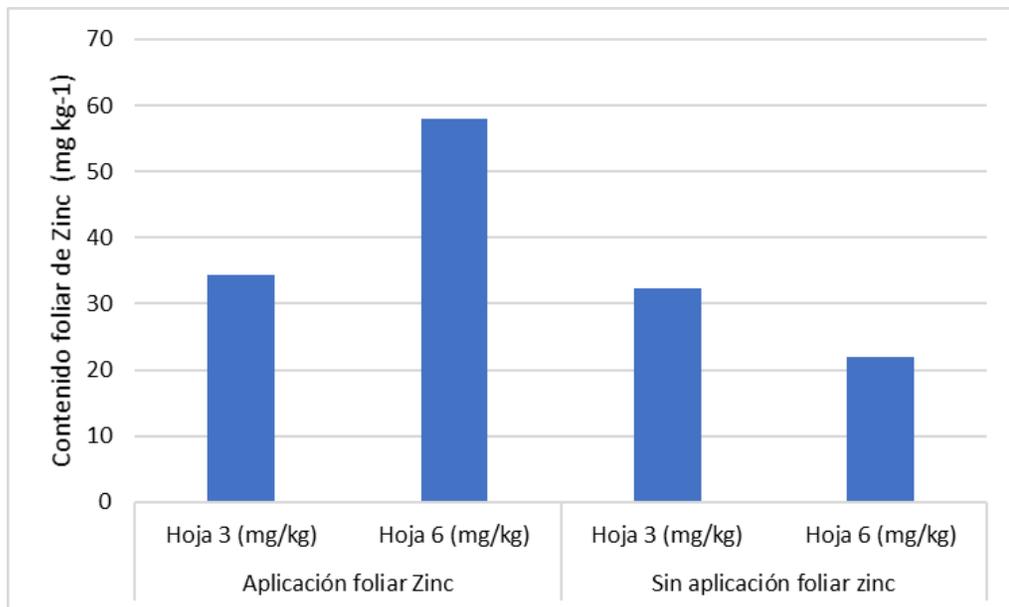


Figura 1. Contenido promedio de Zinc en tejido foliar entre tratamientos. Aplicaciones de Suspensión concentrada de zinc foliar al 70%

Para las plantas, la removilización de nutrientes es particularmente importante en las épocas en que la actividad de las raíces suele decaer como consecuencia de la disminución del suministro de carbohidratos o cuando hay limitaciones desde el suelo, para la toma de nutrientes (Marschner & Rengel, 2023; Moreira & Fageria, 2009). No obstante, la removilización solo se da con elementos móviles en las plantas (White & Ding 2023). Con los nutrientes de baja movilidad como el zinc, hay una complejidad mayor, ya que dependen de la especie, de las condiciones ambientales que potencian o limitan la transpiración de las plantas, del tipo de órgano, de la edad de estos en relación

con la transpiración y de la capacidad del sumidero de los órganos de acuerdo con la edad (Moreira & Fageria, 2009; Torres *et al*, 2014).

Distribución de nutrientes en hojas con posición 3 y 6

En la distribución del nutriente entre las hojas 3 y 6 dentro de los mismos tratamientos, se observaron patrones diferentes. En las plantas sin aplicación de zinc se encontró un mayor contenido del elemento en las hojas más jóvenes de posición 3, respecto a las hojas maduras en posición 6. Por otro lado, en el tratamiento de aspersión de zinc foliar, se presentó mayor contenido de nutriente en las hojas en posición 6 (más maduras) en comparación con las hojas 3 muestreadas. Esta variación en los patrones de distribución de nutrientes se puede explicar por la movilidad de los nutrientes, el zinc es considerado un nutriente de nula o baja movilidad dentro de las plantas, por ende, su contenido está muy asociado a la capacidad de transpiración de las hojas, estas en la posición 6 hacen parte del estrato foliar medio del banano y es donde el intercambio gaseoso se da más activamente. De otro lado, por la baja movilidad del zinc no se redistribuye hacia otros tejidos u órganos y por ende su acumulación se da tras sucesivas aplicaciones.

Comparación temporal y total de defectos asociados a desordenes de formación de fruta

En la **Figura 2** se aprecia el comparativo en el porcentaje de fruta que no es aprovechada para la exportación, relacionada con los defectos asociados a la mala formación de la fruta, los cuales se generaron a través del desarrollo de la inflorescencia hasta el desarrollo inicial del fruto del banano. Se encontró que hay variabilidad temporal en la presencia de los defectos asociados a condiciones ambientales como déficit hídrico, incremento de temperatura, reducción de humedad relativa, lo que afecta la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas. Bajo estas condiciones los nutrientes de baja movilidad tienen mayores limitaciones para llegar a los tejidos más jóvenes.

De acuerdo con Sanchez y Mira 2013, las pérdidas de fruta asociadas a la inadecuada formación de la fruta, también por el déficit de Zn, indicó desórdenes fisiológicos y nutricionales que se presentan durante (1) el desarrollo de la inflorescencia y que dan origen a frutos provenientes de flores no diferenciadas, por la unión parcial éstas por el pedicelo (pegueta), unión de dos o más flores (pacha) o por la formación de una sola fila de dedos (peinetas). Durante (2) el desarrollo de los tejidos de la flor y (3) durante las fases iniciales de desarrollo del fruto.

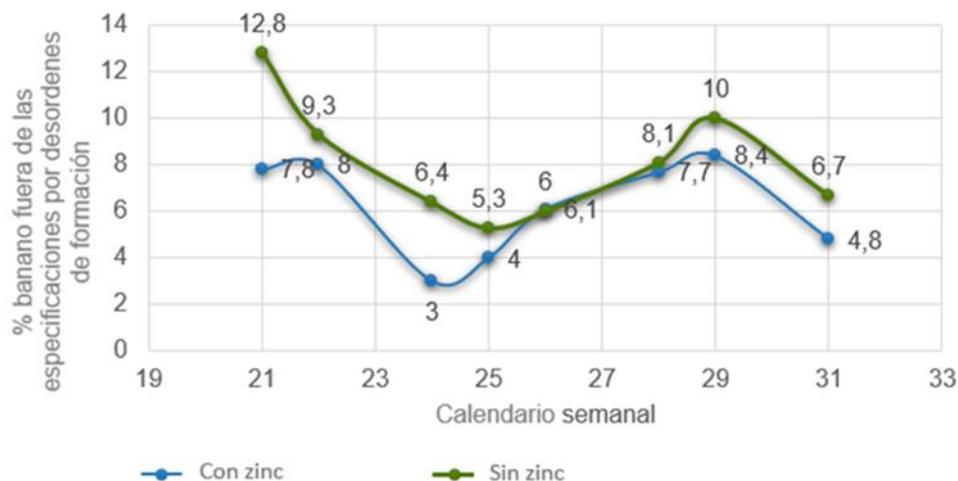


Figura 2. Comparación del porcentaje de frutos de banano con desórdenes de crecimiento en los tratamientos con aplicación de Suspensión concentrada de Zinc vs. control sin aspersión foliar.

Al comparar el tratamiento donde se realizaron aplicaciones de zinc foliar se evidenció que en la mayoría de las semanas se presentó una reducción en el porcentaje de fruta en este tipo de defectos de calidad, lo que indicó que hay un componente nutricional asociado con este tipo de desórdenes, suficientemente explicado por la baja movilidad del zinc en el floema, desde las hojas a los frutos y desde los frutos más viejos a los más jóvenes en las plantas de banano (Moreira & Fageria, 2009). De acuerdo con Moreira & Fageria, 2009, encontraron interacción significativa entre la dosis de zinc y el momento de su aplicación, indicando que las necesidades de zinc del banano variaron con el momento de la aplicación.

Del total de la fruta cosechada y evaluada, se presentó un desperdicio o merma total de 17,3% y 19%, donde los defectos asociados a la formación de fruta fueron de 8,1% para el testigo y de 6,2% para el área tratada con Zn (Figura 3).

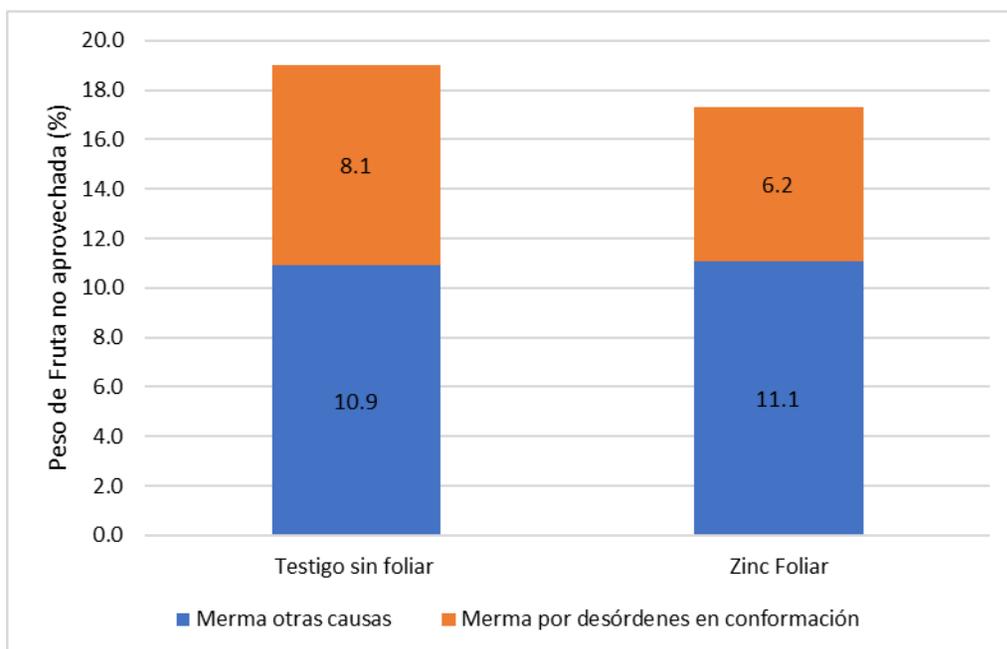


Figura 3. Comparación del peso de fruta no aprovechada entre tratamientos.

De acuerdo con lo anterior, la aplicación foliar de zinc tiene efectos en la reducción de problemas asociados a desórdenes de formación y representó bajo las condiciones del estudio, 1,7% del aumento del peso exportado. Por otro lado, se encontró que las pérdidas por desórdenes de conformación pueden ser reducidas por la aplicación de zinc (23,5%), pero hay otra parte que está asociada a condiciones ambientales no controladas (Ecuación 1).

$$\begin{aligned}
 & \% \text{ Reducción de desórdenes de formación (DF)} \\
 & = \frac{\text{Merma DF (Testigo)} - \text{Merma (DF) Zinc foliar}}{\text{Merma DF (Testigo)}} \\
 & 23,5\% = \frac{8,1\% - 6,2\%}{8,1\%}
 \end{aligned}$$

La aplicación foliar de zinc debe ser parte de una estrategia agronómica en la cual se debe cumplir con los criterios de las 4 C en el manejo integrado de la nutrición y fertilización, cumplir con dosis de aporte de nutrientes de acuerdo con la cantidad de éste, requerido para el crecimiento de los órganos, de la remoción del cultivo y de los requerimientos adicionales para la función antiestrés de los nutrientes. La oportunidad de aplicación debe contemplar los mecanismos fisiológicos de absorción de nutrientes y su movilidad en la planta, además de las condiciones ambientales que limitan éstos

en la toma de nutrientes (Eicher & Fernández, 2023; IPNI, 2012; Torres, *et al*, 2021; White & Ding, 2023).

La fuente de aplicación es clave debido a que se garantiza el suministro y los requerimientos de nutrimentos. La eficiencia del uso y cantidad aplicada dependerá de la productividad presente en la finca y cultivar de banano.

CONCLUSIONES

La pérdida de fruta por inadecuada formación de los dedos durante su desarrollo, son ocasionadas por factores nutricionales relacionados con el suministro de zinc y su relación con factores ambientales, lo que muestra la estrecha relación entre desórdenes de formación con la nutrición del cultivo del banano (Figura 4).

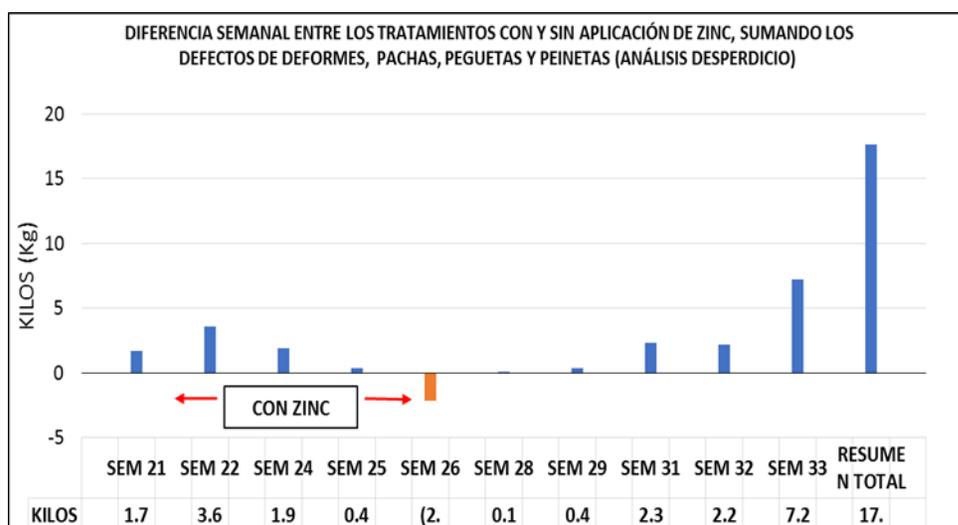


Figura 4. Análisis de desperdicio en dos áreas de contraste con y sin aplicación de Zinc foliar

La nutrición foliar con zinc es una herramienta que ayuda a reducir las pérdidas de fruta asociadas a su inadecuada formación, pero requiere de una estrategia de manejo que contemple las dosis adecuadas de acuerdo con los requerimientos del cultivo, frecuencia y oportunidad, de acuerdo con los mecanismos de absorción y movilidad de los nutrimentos y la fuente empleada, que garantice su disponibilidad y actividad fisiológica.

REFERENCIAS

1. Augura. 2023. Análisis del mercado del banano. Coyuntura bananera año 2022. Asociación de bananeros de Colombia. 40 p.
2. Bebbber, D. P. (2022). The long road to a sustainable banana trade. *Plants, People, Planet*, 1–10. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10331>
3. Cakmak, I., Brown, P., Colmenero-Flores, Husted, S., Kutman, B. Y., Nicolic, M., Rengel, Z., Schmidt, S. B & Zhao, F. J. 2023. Micronutrients. Rengel, Z, Cakmak, I. & White, P. J. (Eds), *Marschner's Mineral Nutrition of Plants* (4th ed., pp 283-286).
4. Contreras, M.A. ¿Por qué no se produce 3000 cajas en la región bananera de Urabá, Colombia?. 2021. Informe técnico final. CI. UNIBAN. 317 P.
5. Eicher, T and Fernandez, V. 2023. Uptake and release of elements by leaves and other aerial plant parts. In Rengel, Z, Cakmak, I. & White, P. J. (Eds), *Marschner's Mineral Nutrition of Plants* (4th ed., pp 105-130).
6. FAO. 2023. *Banana Market Review 2022*. Rome
7. International Plant Nutrition Institute. 2012. 4R de la Nutrición de Plantas. Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas. IPNI 122p
8. Marschner, P., & Rengel, Z. (2023). Nutrient availability in soil. In Rengel, Z, Cakmak, I. & White, P. J. (Eds), *Marschner's Mineral Nutrition of Plants* (4th ed., pp 499-522).
9. Moreira, A & Fageria, N.K. 2009. Yield, Uptake, and Retranslocation of Nutrients in Banana Plants Cultivated in Upland Soil of Central Amazonian. *Journal of Plant Nutrition*, 32: 443–457, 2009 Copyright © Taylor & Francis Group, LLC ISSN: 0190-4167 print /1532-4087 online DOI: 10.1080/01904160802660750
10. Sánchez, T.J.D. and J. Mira. 2013. Principios para la nutrición del banano. AUGURA; Cenibanano, Medellin, Colombia.
11. Torres, B J., Magnitskiy, S & Sánchez, J.D. 2021. Accumulation and distribution of micronutrients in banana cv. Williams (Musa AAA Simmonds) with different doses of nitrogen. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS* - Vol. 15 - No. 1, e11795, January-April 2021 e-ISSN: 2422-3719 · ISSN-L: 2011-2173.
12. White, P.J and Ding, G. 2023. Long-Distance transport in the xylem and phloem. Rengel, Z, Cakmak, I. & White, P. J. (Eds), *Marschner's Mineral Nutrition of Plants* (4th ed., pp 73-104).

Respuesta del pH a la incubación de enmiendas en suelos del Urabá

Diego Alejandro Londoño-Puerta^{1*}; Diego Felipe Feria-Gómez¹; Sindy Paola Cardona-Flórez¹; Sebastián Zapata-Henao¹

¹Centro de investigaciones del banano CENIBANANO.

**Autor de*

Correspondencia:

Diego Alejandro Londoño-
Puerta
fisiologiaynutricion@augur
a.com.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Manejo de suelos y
nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Londoño-Puerta DA, Feria-
Gómez DF, Cardona-Flórez
SP y Zapata-Henao S. 2024.

Respuesta del pH a la
incubación de enmiendas en
suelos del Urabá. *Acorbat
Revista de Tecnología y
Ciencia* 1(1): 13
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2413](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2413)



RESUMEN

La acidificación del suelo es una limitante para la productividad bananera de Urabá, Colombia. Una de las estrategias para el control de la acidez es la aplicación de fuentes encalantes. Son diversos los materiales que pueden utilizarse para el encalado de los suelos, pero todos difieren en su capacidad de neutralización. Con el objetivo de evaluar el comportamiento de siete fuentes encalantes, mediante incubaciones, y su interacción con el pH en dos suelos de Urabá, para el cultivo de banano, se planteó la presente investigación. Con los resultados y las regresiones obtenidas se construyó una tabla la cual muestra la cantidad de cal requerida para obtener una variación de pH determinada.

Palabras Clave: Acidificación, cal, pH, nutrición.

ABSTRACT

Soil acidification is a limiting factor for banana productivity in Urabá, Colombia. One of the strategies for controlling acidity is the application of liming sources. There are several materials that can be used for liming soils, but they all differ in their neutralization capacity. This research was carried out with the objective of evaluating the behavior of seven liming sources, through incubations, and their interaction with pH in two soils of Urabá, for banana cultivation. With the results and the regressions obtained, a table was constructed showing the amount of lime required to obtain a given pH variation.

Keywords: Acidification, lime, pH, nutrition.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente todos los suelos tropicales han sido asociados a fuerte acidez, alto potencial fitotóxico del Aluminio (Al) y/o Manganeso (Mn) y baja disponibilidad de Fósforo (P). Se ha estimado que del 80 - 85 % de los suelos de Colombia son ácidos. Es necesario aclarar que, si bien los suelos ácidos son abundantes en los trópicos, la

agricultura intensiva de altos rendimientos se establece en suelos que son ligeramente ácidos o neutros (Osorio, 2014). En seguimiento al pH de la zona de Urabá, se ha visto que el 50% de 10.000 hectáreas evaluadas, presentan pH menor a 5.5 (Cenibanano, 2022).

La acidificación de los suelos va a limitar la producción bananera en el tiempo, si no se toman medidas correctivas. El pH y la concentración de aluminio intercambiable en suelos bananeros es variable espacialmente, lo que puede ayudar a explicar en parte la alta variabilidad en el desarrollo y rendimiento dentro de un mismo lote de cultivo. Además, se ha encontrado a través de los años de explotación bananera en suelos de la subregión de Urabá un aumento en los porcentajes de saturación de aluminio. La limitante más importante de la acidificación de los suelos es el incremento de la disponibilidad de aluminio para las plantas (Sánchez Torres & Mira Castillo, 2013).

Una de las estrategias para el control de la acidez es la aplicación de fuentes encalantes. El encalado consiste en aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez. Son diversos los materiales que pueden utilizarse para el encalado de los suelos, pero todos difieren en su capacidad de neutralización. Los materiales más comunes son carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y magnesio (Espinosa & Molina, 1999). La aplicación de estas fuentes tienen varios objetivos: 1. Neutralizar parcial o totalmente las especies iónicas de Al, 2. Aumentar pH del suelo para insolubilizar el Al y/o mejorar la solubilidad de algunos nutrientes, 3. Aportar calcio y en algunos casos magnesio, 4. Mejorar la actividad microbial del suelo al mejorar pH, neutralizar Al, entre otros beneficios los efectos que se obtengan con el encalamiento dependerán en buena medida de la dosis y la fuente aplicada, del valor del Al intercambiable y de la capacidad buffer del suelo para amortiguar el cambio de pH (Osorio, 2014). Desafortunadamente, los criterios para determinar la dosis y tipo de cal no son ampliamente conocidos y, con frecuencia, se falla en estos aspectos. Entre los métodos que existen para la determinación de dosis de aplicación, se encuentra la incubación con cal, la cual consiste en tomar porciones de suelo (20-50 g) que reciben la aplicación creciente de cal (0-16 g.kg⁻¹), se mide el pH y se grafica la relación de pH en función de la cal adicionada y se obtiene una regresión entre las variables, con la cual se puede interpolar o extrapolar el requerimiento de Cal para alcanzar un pH deseado (Osorio, 2012). Con el objetivo de evaluar el comportamiento de diferentes fuentes encalantes, mediante incubaciones, y su interacción con el pH en dos suelos de la subregión de Urabá, para el cultivo de banano (*Musa AAA*), se planteó la presente investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la zona bananera de la región de Urabá, Antioquia, Colombia. Se seleccionaron dos unidades de estudio contrastantes, donde se tomaron las muestras de suelos para las incubaciones, una en la zona norte y otro en la zona sur, con características de suelo con pH lo más cercano posible a 5 y ambos con textura franco arcillosa; estas muestras fueron secadas, molidas y pasadas por tamiz de 2 mm. En las instalaciones de Cenibanano, ubicadas en Carepa, Antioquia, se realizaron las incubaciones con siete (7) fuentes encalantes (Cuadro 1). La metodología utilizada fue adaptada de la propuesta por los autores Osorio, (2012) y Uchida & Hue, (2000), modificada en los tiempos de incubación, haciendo mediciones semanales durante 6 semanas, esta se describe a continuación: En vasos plásticos con 20 gr de suelo, se les adiciona las fuentes encalantes, a razón de 0, 0.5, 1, 2, 4, 8, y 16 gr kg⁻¹ suelo, y se mezclan uniformemente. Se incuban las muestras humedeciéndolas al 50% de su retención máxima de humedad, se dejan a temperatura ambiente, al cabo de una semana se humedecen de nuevo para mantener el contenido de humedad inicial, y así sucesivamente durante 6 semanas. Cada tratamiento contó con 18 repeticiones, cada semana se realizaba medición de pH de 3 de estas repeticiones, mediante uso del potenciómetro con electrodos de vidrio, en una mezcla peso/volumen de 1:1 suelo/agua, así, sucesivamente, durante las 6 semanas.

Cuadro 1. Composición de fuentes encalantes utilizadas en la investigación.

Fuente	CaO	MgO	P2O5	SiO2	S
Cal agrícola (CaCO ₃)	50.4				
Cal Dolomita	31.9	15.7			
Dolomita calcinada	56	28			
Silicato de calcio	39	11		25	
Silicato de magnesio		30		31	
Mezcla CaCO ₃ + silicato de magnesio	40	9		10	
Yeso agrícola	24				14.5

Se grafican los resultados entre la fuente encalante aplicada y la variación del pH, además se hallaron los modelos de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estas graficas 1 se observa la evolución en la reactividad de cada fuente evaluada, además de la línea de tendencia, con la cual se extrae la ecuación de regresión (Cuadro 2). En esta grafica también se puede apreciar la evolución de cada dosis a través de las semanas de evaluación (números del 1 al 6), donde se observa una mayor reactividad en las primeras semanas, la cual después decae.

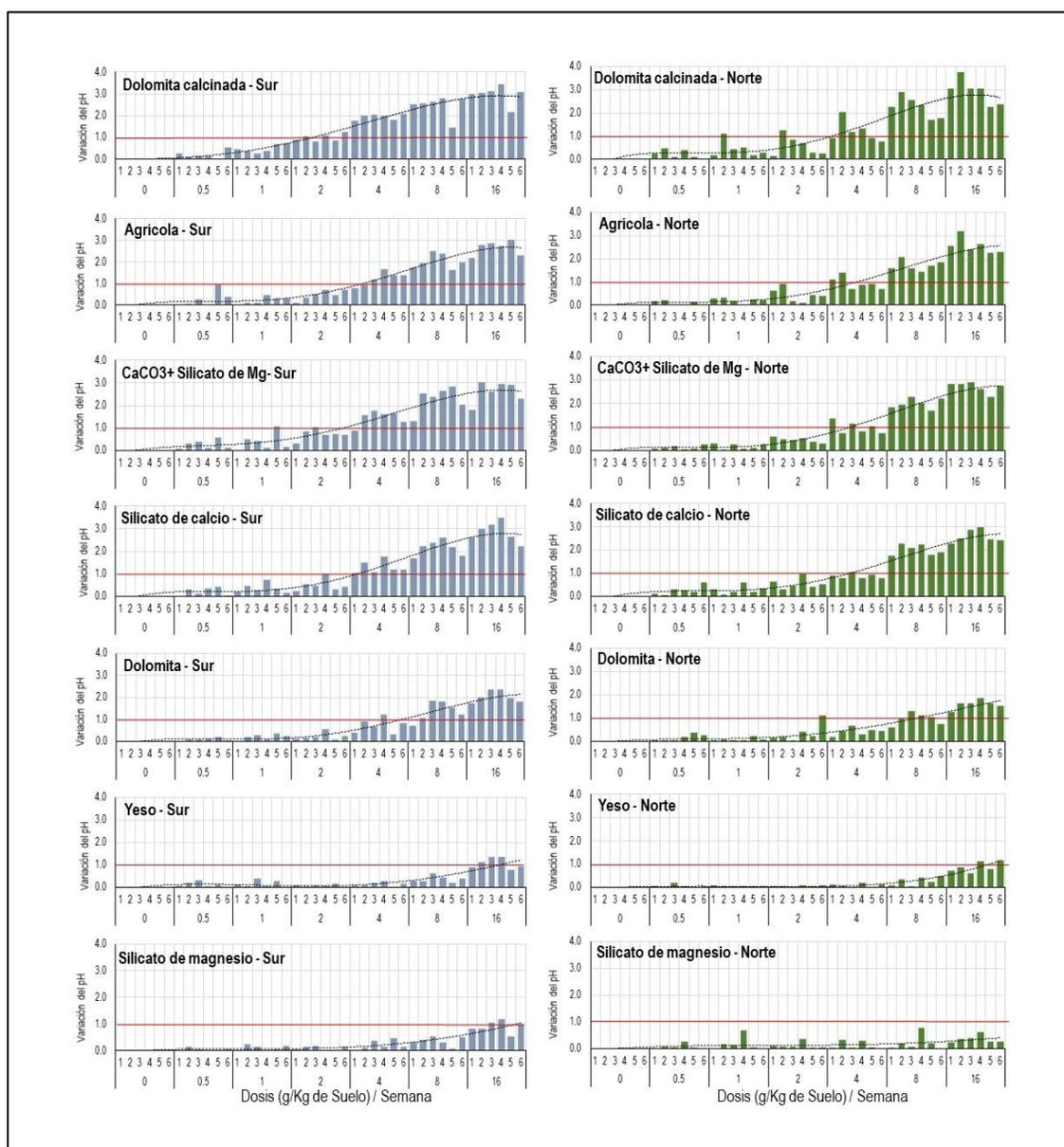


Figura 1. Gráficos de respuesta a la aplicación de cada enmienda, en cada suelo y en cada semana de evaluación.

Cuadro 2. Fórmulas de regresión para cada una de las fuentes evaluadas.

Fuente encalante	Formula de regresión
Dolomita Calcinada	$y = 2.0255x^2 - 1.0884x + 0.6795$
Agrícola (CaCO ₃)	$y = 1.8679x^2 + 0.9538x + 0.4879$
Mezcla Carbonato de calcio + silicato de magnesio	$y = 2.1377x^2 - 0.3079x + 0.6450$
Silicato de Calcio	$y = 1.7474x^2 + 0.6767x + 0.4829$
Dolomita	$y = 2.3221x^2 + 4.3004x + 0.1704$
Silicato de Magnesio	$y = 1.7178x^2 + 25.701x - 0.7862$
Yeso	$y = -13.075x^2 + 29.684x - 0.5339$

Con las fórmulas de regresión obtenidas, descritas en la tabla 2, se construyó la tabla 3, la cual muestra la cantidad de cal requerida para obtener una variación de pH determinada, los colores en la tabla, que van de verde a rojo, pasando por el naranja, indican de menor a mayor cantidad de cal requerida para obtener la variación de pH.

Cuadro 3. Dosis, en gr*kg⁻¹ de suelo, de cada fuente encalante para alcanzar una variación de pH deseada.

		Dosis (g cal / Kg suelo)						
		Dolomita Calcinada	Agrícola (CaCO ₃)	CaCO ₃ + Silicato de Mg	Silicato de Calcio	Dolomita	Silicato de magnesio	Yeso
Variación del pH	0.5	0.64	1.43	1.03	1.26	2.90	12.49	11.04
	1.0	1.62	3.31	2.47	2.91	6.79	26.63	16.08
	1.5	3.60	6.12	4.99	5.43	11.85	41.63	14.57
	2.0	6.60	9.87	8.58	8.83	18.06		
	2.5	10.62	14.55	13.24	13.10	25.43		
	3.0	15.64	20.16	18.96	18.24	33.97		

Se realizó un ejercicio práctico de pasar la dosis a Ton*ha⁻¹, para un suelo con una densidad aparente de 1.3Mg/m³ y una profundidad efectiva de 10 cm, los resultados se muestran en la tabla 4.

Cuadro 4. Dosis, en Ton*ha⁻¹ de suelo, de cada fuente encalante para alcanzar una variación de pH deseada.

		Dosis (T cal / ha suelo) *						
		Dolomita Calcinada	Agrícola (CaCO ₃)	CaCO ₃ + Silicato de Mg	Silicato de Calcio	Dolomita	Silicato de magnesio	Yeso
Variación del pH	0.5	0.83	1.86	1.33	1.64	3.77	16.24	14.35
	1.0	2.10	4.30	3.22	3.78	8.83	34.62	20.90
	1.5	4.69	7.96	6.49	7.06	15.40	54.12	18.95
	2.0	8.59	12.83	11.15	11.47	23.48		
	2.5	13.80	18.91	17.21	17.02	33.06		
	3.0	20.34	26.21	24.65	23.71	44.16		

*Calculado a partir de una densidad aparente de 1.3 Mg/m³ a 0.1 metros de profundidad

La Dolomita calcinada fue la que mayor reactividad tuvo, seguida por la mezcla de CaCO₃+Silicato de Mg, Silicato de calcio, cal agrícola, dolomita, Yeso y por último el Silicato de magnesio. Castro et al., (2018), en pruebas de incubación, obtuvieron que la dolomita calcinada, hidróxido de Ca y Mg, escorias básicas y cal viva, obtuvieron los mejores resultados en aumento de pH. Los materiales encalantes que pasan por un proceso de calcinación son bastante reactivos y pueden obtener resultados rápidos; sin embargo su manipulación es riesgosa ya que al entrar en contacto con el agua reaccionan exotérmicamente y pueden causar quemaduras en la piel, por esto es necesario que al aplicar, se tenga los elementos de protección personal adecuados (Osorio, 2014). Los óxidos e hidróxidos, aun cuando son más efectivos, son difíciles de manejar y por esta razón los carbonatos (CaCO₃) son los materiales de encalado de mayor uso en agricultura (Espinosa & Molina, 1999).

CONCLUSIONES

La metodología de incubación de enmiendas es una muy buena alternativa para tener una aproximación más exacta de lo cantidad de enmienda que se necesita para llegar a un pH determinado.

Todas las enmiendas mostraron que, después de 6 semanas de evaluación, su reactividad bajaba, lo que muestra la necesidad de hacer aplicación de enmienda periódicamente, para así mantener el pH deseado.

Las tablas presentadas dan una mejor aproximación a las dosis que deben ser empleadas a la hora del manejo del pH del suelo en la región de Urabá, además de dar un abanico de opciones para que el productor escoja, según su necesidad, cual fuente encalante se acomoda a su necesidad.

Es recomendado hace el mejoramiento de pH paulatino, para no incurrir en desbalances nutricionales que puedan afectar de manera negativa el cultivo.

REFERENCIAS

1. Castro, H., Guerrero, J. C., Castro, H., & Guerrero, J. C. (2018). Evaluación de materiales de encalado mediante pruebas de incubación en un oxisol de la altillanura colombiana. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 14-26. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.88>
2. Cenibanano. (2022). *Informe anual Cenibanano 2022* (p. 331) [Científico]. https://augura.com.co/wp-content/uploads/2023/04/Informe-anual-CENIBANANO-2022_VF.pdf
3. Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y Encalado de los Suelos* (Primera). International Plant Nutrition Institute. <http://mca.ipni.net/article/MCA-3027>
4. Osorio, W. (2012). *¿Como determinar los requerimientos de cal del suelo?* Laboratorio de suelos, Facultad de ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/Requerimiento-de-cal.pdf>
5. Osorio, W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico* (Segunda). L. Vieco S.A.S.
6. Sánchez Torres, J. D., & Mira Castillo, J. J. (2013). *Principios para la nutrición del cultivo de banano*. Asociación de Bananeros de Colombia : Centro de Investigaciones del Banano.
7. Uchida, R., & Hue, N. (2000). Soil Acidity and Liming. En *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*.

Coberturas vivas para recuperar y mantener la calidad y la salud del suelo en la producción de banano (*Musa* AAA)

Edgar Valverde-Araya* ; Roddy Ortega-Bonilla, Miguel González-Zúñiga, Jorge Luis Sandoval-Solís, Rafael Segura-Mena

Dirección de Investigaciones, CORBANA S.A. Apdo. 32-7210, Guápiles, Costa Rica.

*Autor de

Correspondencia:

Edgar Valverde-Araya
evalverde@corbana.co.cr

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Valverde-Araya E, Ortega-Bonilla R, González-Zúñiga M, Sandoval-Solís JL y Segura-Mena R. 2024.

Coberturas vivas para recuperar y mantener la calidad y la salud del suelo en la producción de banano

(*Musa* AAA). *Acorbat*

Revista de Tecnología y

Ciencia 1(1): 14

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2414



RESUMEN

El uso intensivo de agentes convencionales ha deteriorado los agroecosistemas bananeros, por lo que es una prioridad fomentar alternativas para mejorar la salud y calidad del suelo. Se establecieron áreas con manejo convencional y control mecánico de coberturas. Se evaluaron diferentes indicadores químicos, físicos y biológicos del suelo. El libre crecimiento de arvenses disminuyó la compactación superficial. La materia seca de las coberturas aporta contenidos importantes de N y K. El manejo químico obtuvo la mayor temperatura y la menor tasa de respiración del suelo. No existieron diferencias en el peso de la fruta durante 8 generaciones de evaluación. El uso de coberturas vivas surge como una opción para recuperar y mantener la calidad y salud del suelo.

Palabras clave: Coberturas vivas, ciclo de nutrientes, respiración del suelo, salud del suelo, sostenibilidad del suelo, temperatura del suelo, nutrición.

ABSTRACT

The intensive use of conventional agents has deteriorated banana agroecosystems, so it is a priority to promote alternatives to improve soil health and quality. Areas were established with conventional management and mechanical covers crops control. Different chemical, physical and biological indicators of the soil were evaluated. The spontaneous growth of weeds decreased surface compaction. The dry matter of the covers crops provides important contents of N and K. The chemical management obtained the highest temperature and the lowest soil respiration rate. There were no differences in bunch weight during 8 generations of evaluation. The use of covers crops emerges as an option to recover and maintain the quality and health of the soil.

Keywords: Cover crops, soil sustainability, soil health, soil temperature, nutrient cycle, soil respiration, nutrition.

INTRODUCCIÓN

La calidad y salud de los suelos utilizados con fines agrícolas se ve deteriorada debido a manejos convencionales, que conducen a la erosión de los suelos arables, transformación de ciclos de nutrientes y la disminución de biodiversidad (Beltran y Bernal, 2022). Los suelos con vocación para el cultivo de banano no son la excepción. Esto se refleja en el detrimento del sistema radical del cultivo. El uso intensivo de agroquímicos ha provocado que los agroecosistemas bananeros presenten susceptibilidad a condiciones climáticas adversas, aumenta la fluctuación de los costos productivos y provoca que el cultivo sea menos rentable (Ortega-Bonilla et al., 2022).

El mercado actual exige sistemas de producción sostenibles, con alimentos más amigables con el ambiente y el uso de tecnologías nuevas de producción. La Corporación Bananera Nacional (CORBANA) ha desarrollado investigación enfocada en la promoción de la salud y la biodiversidad del suelo, como principal mecanismo para inducir una mejor sanidad del cultivo como alternativas al manejo convencional.

El uso de coberturas vivas del suelo ha tenido gran aceptación por parte de los productores, lo cual ha contribuido a disminuir el uso de herbicidas, siendo un hecho positivo ante las presiones de distintos mercados que velan por la disminución en el uso de ingredientes activos inorgánicos en las plantaciones de banano. Además, de contribuir a largo plazo en la conservación y recuperación de la calidad del suelo (Rivera et al. 2010).

Por tal razón, el objetivo de este estudio fue evaluar los beneficios del uso de coberturas vivas sobre la calidad y salud del suelo en sistemas de producción de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en una finca bananera ubicada en la Vertiente Atlántica de Costa Rica en los meses de mayo y octubre del año 2019, utilizando plantas del subgrupo Cavendish (*Musa AAA*).

Se establecieron 4 tratamientos: **1)** Testigo absoluto libre crecimiento, **2)** Control químico, **3)** Control mecánico con chapeadora*, **4)** Control mecánico con chapeadora + aplicación de consorcio microbiano**. El diseño experimental constó de bloques completos al azar con 5 repeticiones por tratamiento.

*Los ciclos de chapea se realizaron una vez al mes en épocas de bajas precipitaciones (feb-may) y cada 22 días en época de mayores precipitaciones (jun-ene).

** El consorcio microbiano se preparó introduciendo *Trichoderma* sp., (T-05), *Beauveria bassiana*: Cor Bb60, *Paecilomyces lilacinus* PI-11, bacterias nitrificantes, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* y rizobacterias B/71, a una dosis de 200 mL por planta al mes.

Se evaluaron las siguientes variables:

- **Aporte de materia seca** una muestra por repetición, según el método de Kalra (1998).
- **Resistencia a la penetración de raíces** diez puntos de muestreo por repetición, mediante los estándares propuestos en el manual Eijkelkamp (2013), con el instrumento Penetrologger ML3 versión 6,08.
- **Respiración del suelo** tres puntos de muestreo por repetición, de acuerdo con las especificaciones del manual ADC Bio-Scientific Ltd (2015), empleando un analizador automático de fotosíntesis LiCOR SD, al cual se le adaptó el instrumento Soil Respiration Chamber Hood V2.
- **Temperatura del suelo** cinco puntos de muestreo a 10 cm de profundidad semanalmente durante cuatro meses, con un termómetro para suelo SOILTEST.
- **Peso de racimo** 30 plantas por repetición, medido con una balanza digital durante ocho generaciones.
- **Inventario de coberturas** 10 muestreos por repetición, para esto se utilizó un marco de 1 m² dividido en 100 cuadros, donde cada cuadro representó el 1%. Se clasificó por familia, género y especie de las plantas encontradas dentro de los distintos tratamientos utilizando las referencias de Brenes y Segura (2005) y Acosta (2007).

El análisis de los datos se realizó en el software estadístico RStudio Version (1,0,153). Para el análisis exploratorio, todos los datos evaluados se sometieron a una prueba de distribución, con el fin de determinar el cumplimiento de los supuestos estadísticos de normalidad, homocedasticidad e independencia de las varianzas. Seguidamente se realizó un análisis de varianzas y, una prueba de diferencias mínimas significativas por el método Tukey al 5% de probabilidad de cometer el error Tipo I.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 1 indica que el testigo con libre crecimiento de coberturas posee una resistencia a la penetración significativamente menor a los tratamientos hasta los 10 cm de profundidad. En este punto existe un viraje mostrando al tratamiento de control

químico con una menor resistencia a la penetración respecto al testigo y los demás tratamientos hasta los 35 cm de profundidad. Por lo que el mayor impacto de la resistencia a la penetración se concentra en la superficie del suelo donde es esencial la formación de poros para el crecimiento de raíces de absorción y la infiltración de agua en el perfil.

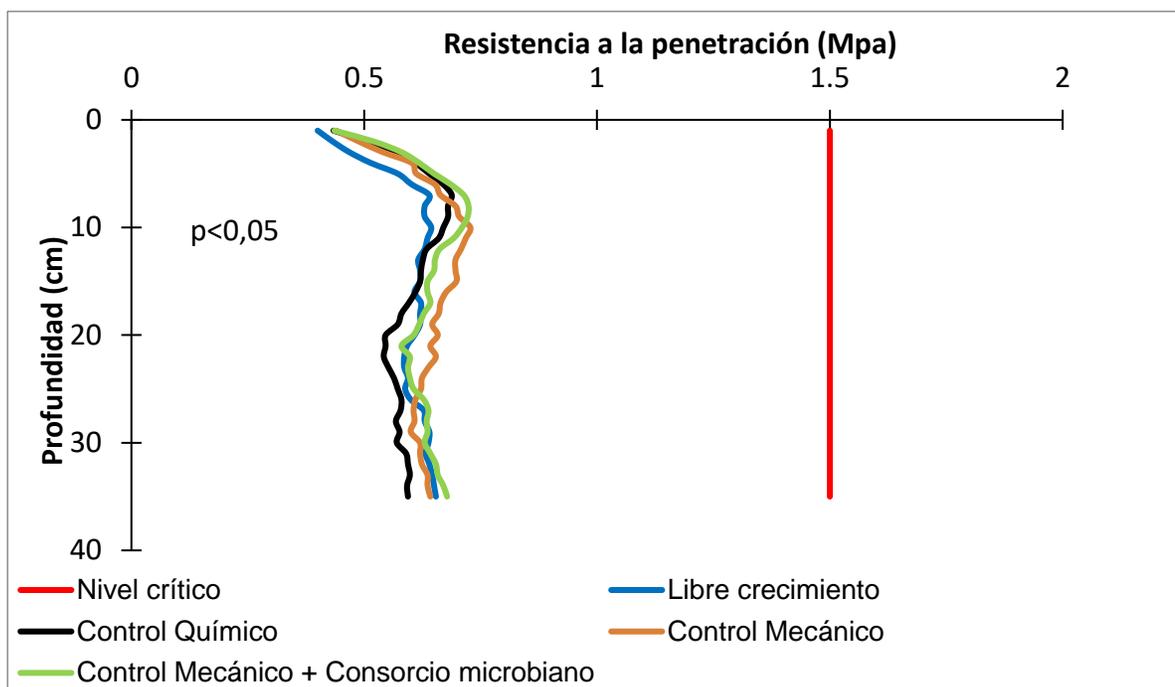


Figura 1. Resistencia a la penetración del suelo (Mpa) hasta los 35 cm de profundidad.

La Figura 2 muestra que sólo el tratamiento con control químico obtuvo un flujo molar de CO₂ significativamente menor al tratamiento testigo, esto implica que el manejo con un paquete técnico convencional impacta de manera negativa las comunidades bióticas del suelo y a largo plazo causa un detrimento en la calidad y salud de los suelos. El tratamiento con control químico obtuvo una temperatura del suelo significativamente mayor al testigo, siendo una posible causa de la disminución en la actividad biológica que se concentra en la superficie del suelo, así como, en el desarrollo de pelos radicales sensibles a las altas temperaturas.

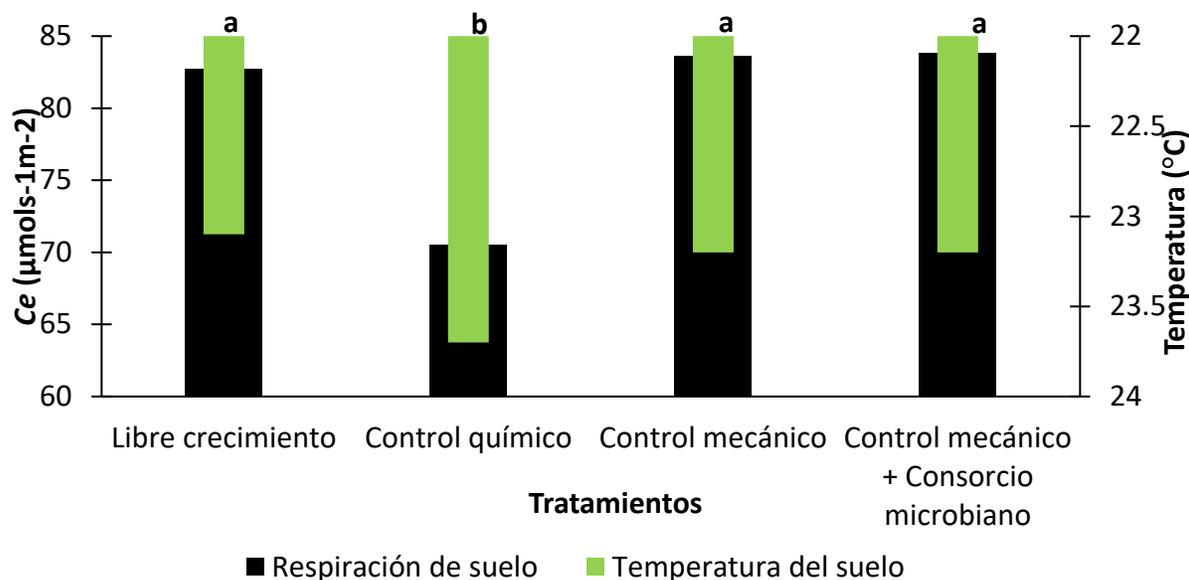


Figura 2. Respiración del suelo medido como flujo molar de CO₂ (μmols⁻¹m⁻²) y temperatura en °C, para los distintos tratamientos y el testigo (libre crecimiento). *Tratamientos con una letra en común no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey (p<0.05).

El cuadro 1 muestra que no existen diferencias en contenido de materia seca y nutrientes entre sistemas de coberturas al utilizar un consorcio microbiano. No obstante, la contribución de nitrógeno y potasio fue significativo en ambos tratamientos, siendo importante debido a que estos elementos son de alta absorción para el cultivo. La descomposición de la materia vegetal en cada ciclo de control aporta cantidades considerables de materia orgánica al sistema en el corto plazo. A los tratamientos de libre crecimiento y control químico no se le determinó el aporte de materia seca, debido a que no son tratamientos que involucren ciclos sucesivos de control mecánico que aporten biomasa al sistema.

Cuadro 1. Contenido nutricional por unidad de materia seca en dos sistemas de coberturas en el cultivo de banano (*Musa AAA*) en el Caribe de Costa Rica.

Tratamiento	Kg/ha/año						
	Materia seca	N	P	K	Ca	Mg	S
Control mecánico	1211a	43,1a	3,73a	38,3a	11,5a	4,98a	5,59a
Control mecánico + Consorcio microbiano	976a	33,3a	3,03a	32,6a	8,71a	4,20a	4,95a

*Tratamientos con una letra en común no son significativamente diferentes, según prueba de Tukey (p<0,05).

En la figura 3 se aprecia que no existieron diferencias significativas en la variable peso de racimo entre tratamientos durante las 8 cosechas evaluadas, lo que demuestra que las coberturas vivas no compiten por el aprovechamiento de luz, agua y nutrientes con el cultivo de banano. Las raíces de arvenses que son controladas de forma mecánica (chapea) mediante ciclos continuos, no generan un sistema radical tan profundo o extenso y se seleccionan naturalmente especies que pueden sobrevivir a este tipo de sistemas como son poáceas de porte bajo, resistentes al pisoteo y la compactación generada por el paso constante de personas que realizan diferentes labores culturales dentro de las plantaciones.

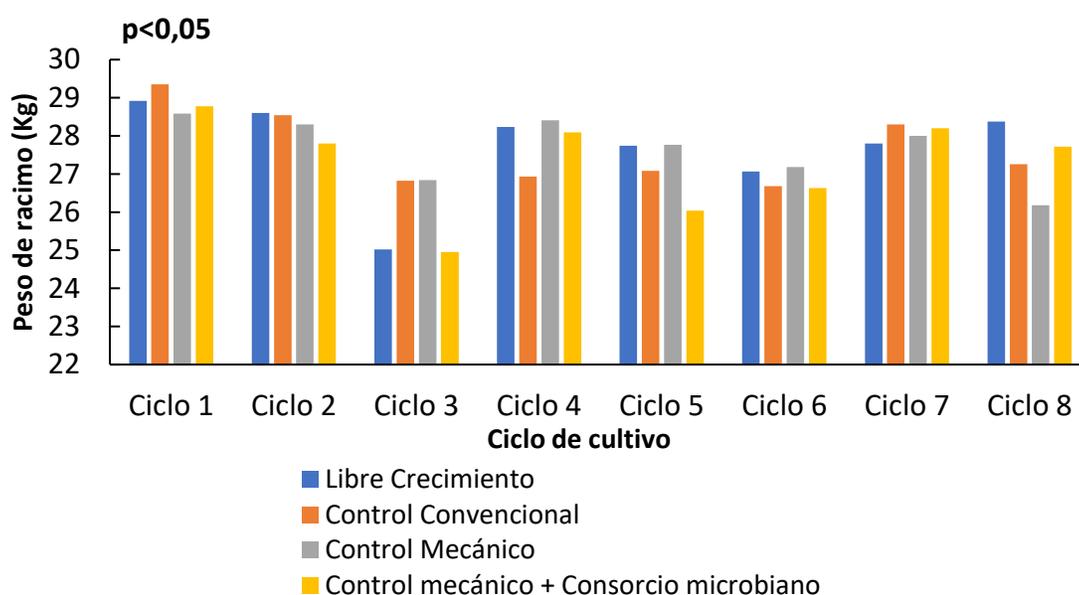


Figura 3. Peso de racimo en 8 generaciones de evaluación.

En el inventario de coberturas (cuadro 2) sólo se evaluaron los tratamientos con control de arvenses. Se evidenció que ningún tratamiento obtuvo una especie dominante, ya que los porcentajes de cobertura fueron muy bajos. En el tratamiento de control mecánico la *Commelina erecta* obtuvo el mayor porcentaje de cobertura, mientras que para el tratamiento con control mecánico + consorcio microbiano fue *Geophila macropoda*.

Cuadro 2. Levantamiento de coberturas de los tratamientos control mecánico y control mecánico + consorcio microbiano.

Tratamiento	% de cobertura							
	<i>Geophila macropoda</i>	<i>Panicum polygonatum</i>	<i>Commelina erecta</i>	<i>Digitaria sanguinalis</i>	<i>Ischaemum ciliare</i>	<i>Cyperus laxus</i>	<i>Oplismenus burmannii</i>	<i>Paspalum conjugatum</i>
Control mecánico	6,84	3,52	7,64	2,16	2,88	2,04	4,4	2,6
Control mecánico + consorcio microbiano	7,8	3,48	2,72	3,56	4,12	0,48	2,8	3,28

CONCLUSIONES

El uso de coberturas vivas en los sistemas de cultivo de banano, aportan nutrientes clave para el desarrollo y crecimiento de las plantas. A su vez, disminuyen el impacto de la temperatura, la compactación y la radiación superficial, protegiendo tanto a las raíces del cultivo principal como a las poblaciones de microorganismos de estos estratos del suelo. Así mismo, se evidencia que bajo un manejo integral de las coberturas no existe competencia por agua, luz y nutrientes con el cultivo ya que no impacta variables de importancia productiva como el peso de fruta. Por lo tanto, su utilización dentro de sistemas de producción es una alternativa para recuperar y mantener la salud y calidad en los suelos, así como, disminuir la utilización de agentes convencionales para su control.

REFERENCIAS

1. Acosta, L. 2007. Alternativas agroecológicas en el manejo de la flora vascular asociada al cultivo del banano (*Musa AAA*) en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Ph. D. San José. CR. Universidad de Costa Rica. 153 p.
2. ADC Bioscientific LTD. 2015. User Manual LCi and LC pro Soilhood. Issue 2B.6 p.
3. Beltran, M., Bernal, A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. Mutis, 12 (1).
4. Brenes, S; Segura, A. 2005. Caracterización de la herbología asociada al cultivo del banano en Costa Rica. CORBANA. 31(58):89-90 p.
5. Eijkelkamp.2013. Penetrologger: Operating instruction. Netherlands. Eijkelkamp Agrisearch Equipment. 40 p.

6. Kalra, Y.P. (Ed.) 1998. Handbook of reference methods for plant analysis. Soil and Plant Analysis Council, Inc. CRC Press, USA: 300p.
7. Ortega-Bonilla, R., Torres-Asuaje, P., Segura-Mena, R., Echeverría-Beirute, F., Uribe-Lorio, L. (2022). Aislamientos de *Bacillus cereus* sobre el crecimiento y el contenido de nitrógeno en banano (*Musa AAA*).
8. Rivera, S.; Guzmán, Ó.; Zamorano, C. 2010. Arvenses hospedantes de nematodos fitoparásitos en el cultivo de plátano. *Fitopatología Colombiana*. 34(2): 47-51 p

Evaluación de pérdida de suelos en plantaciones de banano (*Musa* AAA) en la zona de Urabá, Colombia

Laura Delgado Bejarano¹; Jackson Danilo Osorio¹; Juan José Pérez Zapata^{1*}; Miguel Ángel Bernal Monterrosa¹; Sebastián Zapata Henao¹; Darío Antonio Castañeda Sanchez²; Liyey Mayerli Vahos¹

¹Centro de Investigaciones del banano (Cenibanano) - Augura. Colombia, conjunto residencial Los Almendros km4 vía Carepa-Apartadó. Carepa, Antioquia, Colombia; ² Universidad Nacional de Colombia. Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Juan José Pérez Zapata
suelos@augura.com.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Delgado BL, Danilo OJ,
Pérez ZJJ, Bernal MMA,
Zapata HS, Castañeda SDA
y Mayerli VL. 2024.

Evaluación de pérdida de
suelos en plantaciones de
banano (*Musa* AAA) en la
zona de Urabá, Colombia.

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):

15

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2415

RESUMEN

La erosión es una problemática a nivel mundial que se traduce en la pérdida de nutrientes, degradación de la calidad del suelo y pérdida de productividad en los cultivos. Como alternativa de manejo se recomienda la implementación de coberturas vegetales para generar un efecto barrera entre el agua y el suelo. Con el fin de evaluar el efecto del manejo de coberturas en las tasas erosivas se realizaron trampas de sedimentación sobre canales terciarios y estacas en los botalones. Durante los ensayos se encontró que la presencia de coberturas tanto en canales como en botalones tiene un efecto significativo sobre la pérdida de suelo en comparación con el suelo desnudo.

Palabras Clave: calidad del suelo, coberturas vegetales, erosión, productividad, Nutrición.

ABSTRACT

Erosion is a global problem that results in nutrient loss, soil quality degradation, and reduced crop productivity. As a management alternative, the implementation of vegetation covers is recommended to create a barrier effect between water and soil. In order to assess the effect of cover management on erosion rates, sedimentation traps were set up in tertiary channels and stakes were installed in furrows. During the experiments, it was found that the presence of vegetation covers, both in channels and plots, has a direct effect on soil loss compared to bare soil.

Keywords: soil quality, vegetation covers, erosion, productivity, Nutrition.



INTRODUCCIÓN

La erosión es una de las problemáticas de degradación de suelo más importante a nivel mundial, generando impactos negativos debido al arrastre de partículas de suelo, lo que conlleva a pérdida de fertilidad, disminución del espesor del primer horizonte y con este la pérdida de contenido de materia orgánica y retención de humedad, lo que finalmente se traduce en la pérdida de productividad en los cultivos y el deterioro ecológico del suelo (Chen et al., 2019; Delgado Bejarano et al., 2023; Zhao et al., 2020).

La erosión se ve influenciada por diferentes factores como el clima, relieve, características del suelo, vegetación y manejo. Diferentes autores mencionan que la micro topografía, la precipitación y el uso de coberturas son los parámetros con mayor influencia en las dinámicas erosivas del suelo (Han et al., 2021; Yang et al., 2023). Por esta razón, se ha tomado la implementación de coberturas como una práctica de conservación para disminuir las tasas erosivas a nivel mundial, esto debido a que estas generan un efecto barrera entre las gotas de lluvia o del riego y el suelo, reduciendo el impacto y las tasas erosivas. Adicionalmente, la vegetación puede generar agregación del suelo y mejorar propiedades físicas como la infiltración, porosidad, estructura y cohesión (Bai & Cui, 2021; Zhao et al., 2020). Con base en lo anterior el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de las coberturas y sus manejos en las tasas erosivas en sistemas de drenaje y plantaciones de banano en la zona de Urabá, Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

Las evaluaciones se realizaron en el Campo Experimental Ramiro Jaramillo Sossa, finca dedicada a la producción de banano para exportación, se encuentra ubicada en el municipio de Carepa, Antioquia, Colombia, con coordenadas 7,78026 N y 76,67294 O presentando las siguientes condiciones: altitud de 20 m.s.n.m, con base en las mediciones de la red agro climatológica de Augura, precipitación media anual de 2.961 mm y una temperatura de 27 °C, asentando la finca en una zona de vida de bosque húmedo tropical (bh-T).

Evaluación tasas erosivas en canales de drenaje

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos, tres repeticiones y tres pseudoréplicas. Los tratamientos fueron: a. Tratamiento con suelo desnudo (TSD); b. Tratamiento con cobertura vegetal (TCV) en donde se mantienen las coberturas naturales sin ningún tipo de manejo y c. Tratamiento con manejo convencional (TMC) en donde se conservan las coberturas nobles y se hace poda y aplicación selectiva de herbicida en las demás arvenses. Se seleccionaron canales terciarios en los que se instalaron sobre el talud cajas de sedimentación (Cs), de 50 cm y 30 cm de largo (l_{cs}) y ancho (a_{cs}) respectivamente. La parte superior de la caja se dejó abierta para permitir el ingreso del agua de escorrentía captada a lo largo de la longitud de la pendiente (L) y se aisló lateralmente para facilitar la captación del material erosionado, en la zona inferior se agregó un recipiente plástico de 20 L para captar el material (Colectores) como se observa en la **Figura 1**. De forma semanal se realizaron mediciones del volumen total infiltrado en los colectores (V_T) y de allí se extrajo una submuestra de 50 mL (V_s), estas submuestras se etiquetaron y se llevaron al horno a 105°C hasta peso constante, posteriormente se pesó el suelo erosionado de la submuestra (m_s) y mediante la ecuación 1 se determinó el suelo total erosionado (m_T).

$$m_T = \frac{V_T \cdot m_s}{V_s} \quad (1)$$

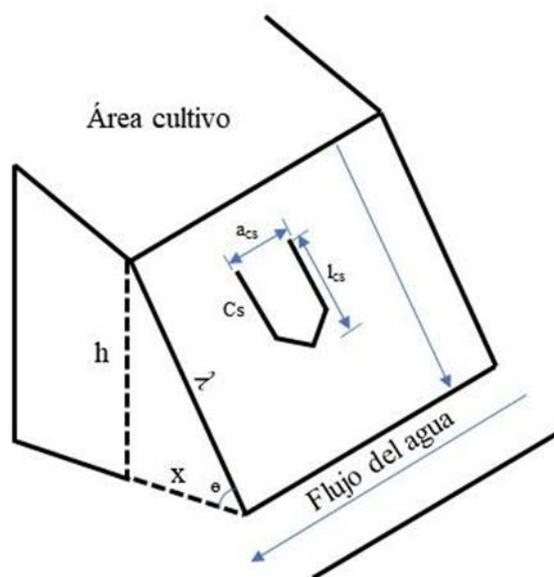


Figura 1. Bosquejo de un drenaje terciario. y: profundidad del drenaje. x: distancia horizontal en relación a la altura. h: talud del drenaje. c: cajuela delimitación y recolección de sedimentos. L. longitud de la pendiente.

En el Cuadro 1 se presenta la clasificación de las tasas erosivas.

Cuadro 1. Clasificación de las tasas erosivas. *Fuente:* Han et al. (2021)

Clasificación	Rango (t ha⁻¹ año⁻¹)
Muy baja	≤ 2,0
Baja	2,0 – 25
Media	25 – 50
Alta	50 – 80
Muy Alta	80 – 150
Extrema	> 150

Evaluación de tasas erosivas en botalones

Se establecieron cuatro tratamientos en la finca Campo experimental con diferentes manejos de coberturas como se describe a continuación: T1: Suelo desnudo, aplicación de herbicidas; T2: Manejo de coberturas mecánico (guadaña); T3: Manejo integrado, se realiza parcheo con herbicida, control mecánico y manual.; T4: Establecimiento de coberturas nobles.

En estos botalones se realizó un levantamiento del micro relieve con un RTK CHS I73 en modo Ntrip, con error vertical de 3 cm y horizontal de 1,5 cm. La malla de muestreo se realizó a distancia de 4 m x 4 m. Posteriormente se instalaron estacas de sedimentación de 1 m de largo, previamente marcadas con valores positivos y negativos con una escala de 0.5 cm, estas fueron instaladas en los tratamientos tomando el cero como el nivel del suelo. Las mediciones se realizaron de forma mensual tomando los valores positivos como ganancia de suelo y los negativos como pérdida.

Análisis espacial y estadístico

Para el análisis espacial se usó el software SAGA 2.31 y QGIS 3.14 en el que se realizaron interpolaciones tipo B spline multilevel y modelos 3D para la visualización del micro relieve. Para el análisis estadístico se usó el software R 4.3.0 en donde se verificó el supuesto de normalidad con un análisis de Shapiro-Wilk, se evaluó la homocedasticidad un test de Levene y se determinaron diferencias mediante un test no paramétrico de Kruskal-Wallis, las diferencias entre grupos se realizaron a un nivel de confianza del 95% mediante LSD-test y Duncan-test.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación tasas erosivas en canales de drenaje

Durante las evaluaciones de erosión en los canales de drenaje se encontraron diferencias estadísticas ($p\text{-value} < 0,05$; Figura 2), donde las tasas erosivas se presentan en el siguiente orden $TCV < TMC < TSD$, estas últimas se clasifican como altas ($50 - 80 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), los TCV y TMC se clasifican como tasas de erosión medias ($25 - 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) con base en la clasificación presentada por Han et al., (2021).

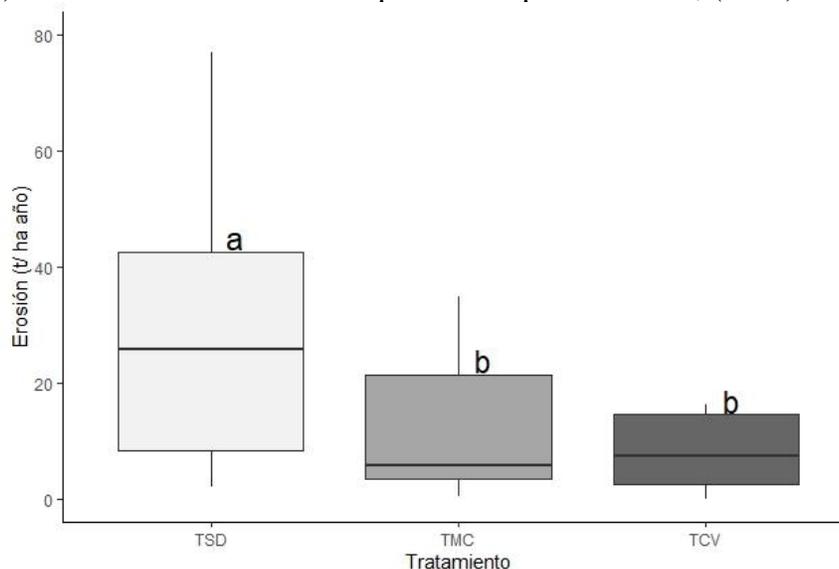


Figura 2. Distribución de datos de erosión experimental. Letras diferentes denotan diferencias estadísticas, LSD test $p\text{-value} < 0,05$.

En la Figura 2 se observa que existe una disminución significativa de las tasas erosivas cuando existe presencia de coberturas en los taludes del canal, sin embargo, no hay diferencias entre el tipo de manejo que se les da. Estos resultados están acorde a lo encontrado por Chen et al. (2019) en su investigación en China, en donde mencionan que las coberturas reducen exponencialmente las tasas erosivas, explicando que a mayor porcentaje de coberturas, mayor es la reducción, esto justifica los valores medios más bajos del tratamiento TCV durante las evaluaciones, ya que al no tener manejo, presentan mayor densidad y efecto de barrera mayor. Este efecto de disminución de las tasas erosivas con la presencia de coberturas ha sido reportado de igual forma por Zhao et al. (2020). Si bien no existen diferencias significativas entre los dos tipos de manejo de cobertura evaluados, es importante tener en cuenta que los canales con TCV pueden presentar problemáticas en su funcionamiento, debido a que la biomasa de las coberturas puede obstaculizar el flujo y disminuir la velocidad con la que se mueve el agua a través del canal (Tang et al., 2023), por lo que se recomienda realizar un mantenimiento convencional (TMC).

Evaluación de tasas erosivas en botalones

En la Figura 3 se presenta el micro relieve de los botalones evaluados donde los valores oscilan entre 37,15 m.s.n.m y 38,34 m.s.n.m, donde los valores más bajos representados por las tonalidades rojas se presentan hacia las áreas de canales terciarios y cable vía y las zonas más altas representadas en coloraciones verdes hacia el centro de los botalones.

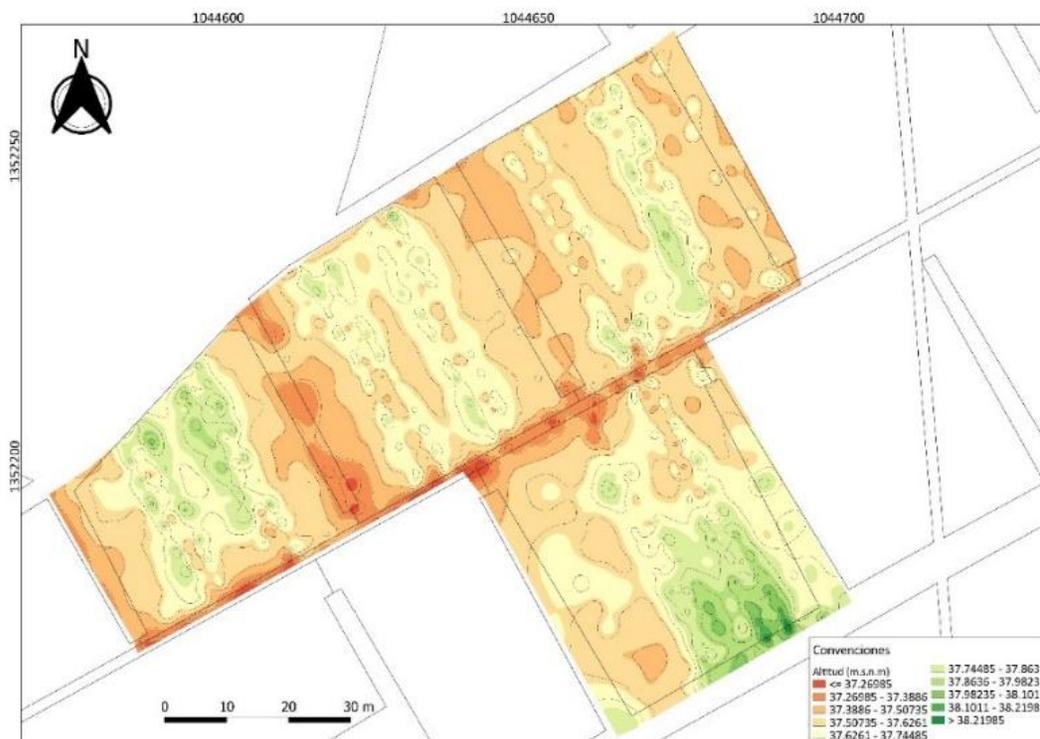


Figura 3. Micro relieve en el área evaluada

La medición sobre movilidad del suelo en los botalones presentó diferencias estadísticas en función de los tratamientos establecidos ($p\text{-value} < 0,05$; Figura 4).

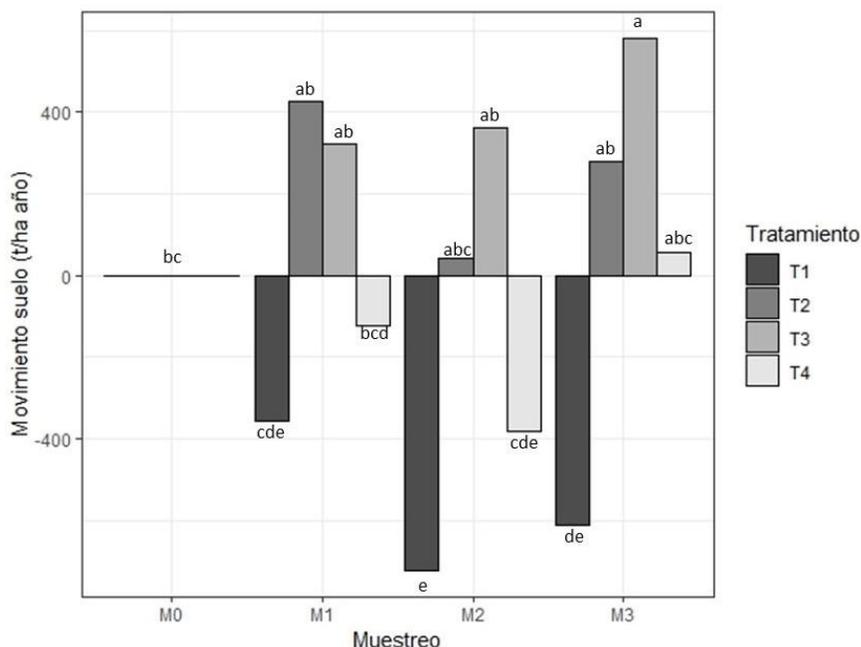


Figura 4. Movimiento de suelo en los tratamientos evaluados, valores positivos son ganancia de suelo y los negativos pérdida de suelo. Letras diferentes denotan diferencias significativas, Duncan test p -value < 0,05.

Se puede observar que el T1 presenta pérdidas de suelo durante todas las evaluaciones con un valor medio de $153,29 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, estos valores son cercanos a los presentados por Han et al. (2021) en China que encontraron que zonas con suelo desnudo presentan un valor medio de erosión de $121,95 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Adicionalmente, esto coincide con lo encontrado por Bai & Cui, (2021) en sus investigaciones en China donde mencionan que los suelos desnudos presentan mayores tasas de pérdida de suelo, mientras que mayor presencia de cobertura puede reducir las pérdidas. En los tratamientos con coberturas a excepción del T4 se observa una ganancia de suelo, esto se da debido a que por las lluvias y riegos en el área, existe movimiento de partículas, sin embargo, las coberturas retienen los sedimentos generando una acumulación de estas, lo cual se ve reflejado en las estacas de medición, Marques et al. (2021) mencionan que la retención de sedimentos está dada en función del uso del suelo y su manejo, por lo que los manejos que se le dan a las coberturas influyen significativamente sobre la retención y pérdida de suelo, para el caso particular del T4 se observa que solo se da retención en el M3, esto puede estar influenciado por el establecimiento de las coberturas nobles y su tiempo de adaptación.

CONCLUSIONES

El manejo y uso de coberturas a nivel de canales e internas en el área neta de las plantaciones, permite retener las partículas de suelo, evitando pérdidas de material y fertilidad en las plantaciones.

Con base en el micro relieve, el uso de coberturas reduce el transporte de material hacia los canales disminuyendo las tasas de sedimentación de los mismos, esto complementado con el uso de coberturas en los canales disminuye significativamente las tasas erosivas y permite aumentar su vida útil y disminuir la frecuencia de los ciclos de mantenimiento.

Se debe realizar un adecuado mantenimiento de las coberturas para conservar la funcionalidad de los canales sin obstaculizar el flujo de agua, permitiendo abatir los niveles freáticos en los cultivos de banano.

REFERENCIAS

1. Bai, Y., & Cui, H. (2021). An improved vegetation cover and management factor for RUSLE model in prediction of soil erosion. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 21132–21144. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11820-x>
2. Chen, J., Xiao, H., Li, Z., Liu, C., Wang, D., Wang, L., & Tang, C. (2019). Threshold effects of vegetation coverage on soil erosion control in small watersheds of the red soil hilly region in China. *Ecological Engineering*, 132(November 2018), 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.04.010>
3. Delgado Bejarano, L., González Sanchez, H., & Castañeda Sánchez, D. (2023). SOIL EROSION BY HAND TOOLS FOR SMALL-SCALE TILLAGE ON HILLSLOPES ASSESSED THROUGH THE UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 39(1), 75–89. <https://doi.org/10.29393/CHJAA39-7SELD30007>
4. Han, X., Xiao, J., Wang, L., Tian, S., Liang, T., & Liu, Y. (2021). Identification of areas vulnerable to soil erosion and risk assessment of phosphorus transport in a typical watershed in the Loess Plateau. *Science of The Total Environment*, 758, 143661. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143661>
5. Marques, S. M., Campos, F. S., David, J., & Cabral, P. (2021). Modelling sediment retention services and soil erosion changes in Portugal: A spatio-temporal approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi10040262>
6. Tang, C., Yi, Y., & Zhang, S. (2023). Flow and turbulence in unevenly obstructed channels with rigid and flexible vegetation. *Journal of Environmental Management*, 326(PA), 116736. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116736>
7. Yang, F., Wang, N., Zheng, Z., Li, T., He, S., Zhang, X., Wang, Y., Huang, H., Yu, H., Ye, D., & Liu, T. (2023). Effects of microtopography change driven by seepage and slope gradients on hillslope erosion of purple soil. *CATENA*, 231, 107353. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107353>
8. Zhao, J., Feng, X., Deng, L., Yang, Y., Zhao, Z., Zhao, P., Peng, C., & Fu, B. (2020). Quantifying the Effects of Vegetation Restorations on the Soil Erosion Export and Nutrient Loss on the Loess Plateau. *Frontiers in Plant Science*, 11(November), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.573126>

Factores ecofisiológicos causantes de la aparición de agobio en banano (*Musa AAA*) indicar el cultivar en la zona de Urabá, Antioquia

Yanely Duarte Holguín¹; Franklin Palacios Zapata¹; Julián Andrés Valencia Arbeláez^{1*}

¹Centro de Investigaciones del Banano – Cenibanano, AUGURA. Carepa, Antioquia, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Julián Andrés Valencia
Arbeláez
invagroclimatologia@augura.c
om.co

Contribución:

Científica

Sección:

Fisiología y Bioquímica

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Duarte HY, Palacios ZF y
Valencia AJA
2024. Factores
ecofisiológicos causantes de
la aparición de agobio en
banano (*Musa AAA*)
indicar el cultivar en la zona
de Urabá, Antioquia.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
16
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2416](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2416)

RESUMEN

El banano, al igual que otras plantas, es dependiente de factores climáticos como temperatura, humedad, precipitación y brillo solar, afectando la duración de las etapas vegetativas y reproductivas. Actualmente, el cultivo enfrenta desafíos asociados a estrés biótico y abiótico, entre estos, el “agobio”, responsable de la pérdida foliar, caracterizado por el doblamiento del peciolo sin manipulación externa. Se realizaron evaluaciones en campo y condiciones semicontroladas, estableciendo 6 tratamientos de láminas de riego diferenciadas. Se midió la incidencia de “agobio” y su relación con temperatura, precipitación y humedad del suelo. Se concluyó que amplitudes térmicas (ΔT) superiores a 8 °C durante las últimas 48 horas, aumenta la probabilidad de agobio.

Palabras clave: Estrés, pérdida de hojas, variabilidad climática, temperatura, precipitación, Fisiología.

INTRODUCCIÓN

La variabilidad y el cambio climático generan cambios en las condiciones ambientales, afectando la dinámica de crecimiento y desarrollo de las plantas, entre ellos, el banano (*Musa AAA*), caracterizado por ser una hidrófita del trópico húmedo cuya estructura vegetativa está adaptada a condiciones de alta humedad (Jarma et al., 2012; Stott et al., 2011), viéndose afectada de manera negativa por eventos extremos: lluvias torrenciales, sequías prolongadas, ráfagas de viento, altas temperaturas, y por ende, las producciones se disminuyen (Moreno, 2018; Uribe, 2015).

En Colombia, el banano es una de las frutas más consumidas (PROCOLOMBIA, 2021), y durante el 2022 contribuyó en un 20,2% al total de las exportaciones (AUGURA, 2023). Este se cultiva a nivel comercial y con fines de exportación en el Urabá antioqueño, Magdalena y la Guajira, siendo la Unión Europea el principal destino de las exportaciones en el 2022, con el 63% del total exportado, seguido de Estados Unidos con 17 % (AUGURA, 2023). Es así como la producción de esta especie



es un sistema complejo que involucra no sólo la planta sino también toda la cadena productiva, donde las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático deben estar fundamentadas en estudios que permitan entender la respuesta de la planta en función de condiciones ambientales cambiantes (Piedrahita et al., 2016).

Dentro de los parámetros productivos utilizados para evaluar el estado productivo de una planta de banano se tiene el número de hojas en cada etapa fenológica. La sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) es la principal enfermedad que afecta el follaje de las hojas en este cultivo, mientras que Ceramidia (*Antichloris viridis*) y Arañita roja (*Tetranychus* sp.) son las principales plagas de importancia (Pinzón et al, 2023) (Benavides y Cadavid, 2019). El agobio es una respuesta fisiológica de la planta a un desbalance hormonal, causado presumiblemente por cambios bruscos en las condiciones climáticas, caracterizado en el doblamiento del peciolo sin manipulación externa, generando la pérdida del órgano fotosintético (Feria et al, 2023). En la actualidad no se han encontrado estudios al respecto sobre este tipo de afectación en las hojas en banano.

Partiendo de lo anterior, se realizó un estudio enfocado en analizar los efectos ecofisiológicos que podrían estar involucrados en la aparición de “agobio” sobre banano tipo exportación (*Musa* AAA) en la zona de Urabá, Antioquia, específicamente temperatura, precipitación y humedad del suelo con el fin de proporcionar información relevante para su caracterización y posterior manejo, ya que se presume como consecuencia de un estrés ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en dos lugares, situados en el municipio de Carepa, en la subregión de Urabá perteneciente al departamento de Antioquia, a 28 msnm, con temperaturas que oscilan en promedio entre 24 – 32 °C, una precipitación anual de 2,874 mm y una humedad relativa de aproximadamente el 80%. Donde se realizó una fase en campo y otra bajo condiciones semicontroladas.

Condiciones semicontroladas (Invernadero CENIBABANO-AUGURA)

La evaluación se desarrolló en el invernadero de Cenibanano Augura. Se utilizó banano clon Williams (sub grupo Cavendish) de 4 semanas de desarrollo, con una altura promedio de 25 cm y un diámetro del pseudotallo de 19 mm, sembradas el 07 de marzo de 2023 y sometidas a un periodo de adaptación de 15 días. Posteriormente se

distribuyeron en 2 grupos y cada uno estuvo compuesto por tres tratamientos con base en la humedad de los suelos: capacidad de campo (control), inundación y déficit hídrico (Cuadro 1). Con el propósito de evaluar el efecto en las plantas a cambios ambientales bruscos, se sometió uno de los grupos a un choque térmico (CT), sacando las plantas del invernadero cuando se presentarán altas temperaturas ambientales, la temperatura interna absoluta fue de 40,5 °C y la externa fue de 37 °C. Cada tratamiento fue de ocho plantas, para un total de 48 unidades experimentales aleatorizadas (Figura 1).

Cuadro 1. láminas de riego de los tratamientos.

Tratamientos	Grupo	Tiempo (minutos)	Lamina día (Litros)	Lamina semana (Litros)	Días de riego
T0	Sin CT	6	0.3	2.1	7
T1	Sin CT	6	0.3	0.9	3
T2	Sin CT	30	1.5	10.5	7
T3	Con CT	6	0.3	2.1	7
T4	Con CT	6	0.3	0.9	3
T5	Con CT	30	1.5	10.5	7

Se empleó el sistema de riego por goteos tipo estaca para aplicar las diferentes láminas correspondientes a cada tratamiento, manejando un caudal de 500 ml/h. El primero corresponde a capacidad de campo y se aplicó un turno de riego de 6 minutos diariamente (Figura 2A). Para el segundo, déficit hídrico, se aplicó la misma cantidad de agua solamente tres veces por semana (Figura 2B). Por último, para el denominado inundación, se mantuvo una lámina de agua superficial, con un turno de riego de 30 minutos diarios (Figura 2C). Con el fin de mantener las láminas en las condiciones mencionadas, se monitoreó la humedad del suelo mediante el uso de sensores de potencial mátrico.

Tratamiento	Grupo	Tiempo (min)	Lamina día (L)	Lamina semana (L)	Días de riego
T0	Sin CQ	6	0.3	2.1	7
T1		6	0.3	0.9	3
T2		30	1.5	10.5	7
T3	Con CQ	6	0.3	2.1	7
T4		6	0.3	0.9	3
T5		30	1.5	10.5	7

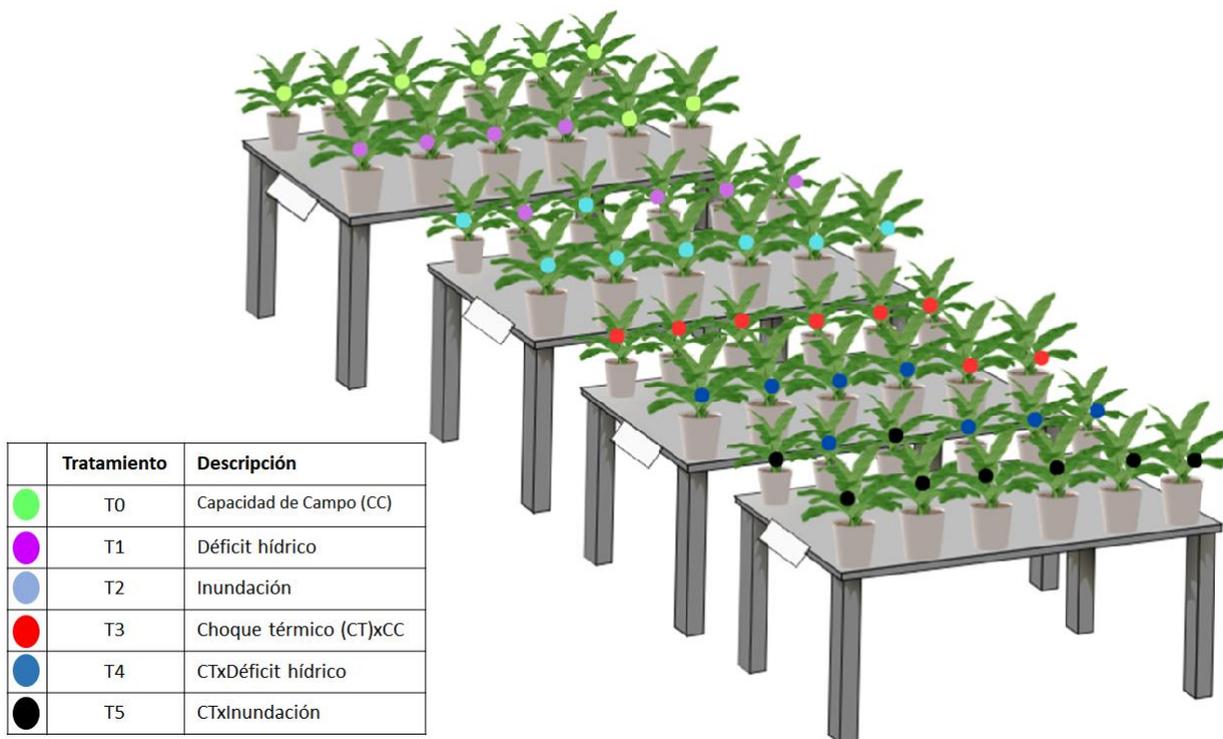


Figura 1. Disposición de los tratamientos en el invernadero.

Se asumieron tres variables ambientales explicativas (humedad del suelo, temperatura interna y externa del invernadero). Las variables respuesta evaluadas fueron: plantas con agobio, altura de la planta, diámetro del pseudotallo, raíces adventicias, arropollamiento y número de hijos. Las mediciones de las primeras 2 variables, se realizaron cada semana para evaluar la tasa de desarrollo en función de los tratamientos establecidos; mientras que, las variables arropollamiento, número de hijos y la presencia o ausencia de raíces adventicias, fueron evaluadas 9 semanas después del inicio de la aplicación de los tratamientos. Se realizó prueba de análisis de varianza, test de normalidad de kolgomorov smirnoff y prueba de medias de dunn's y cálculo del coeficiente de correlación de Spearman.

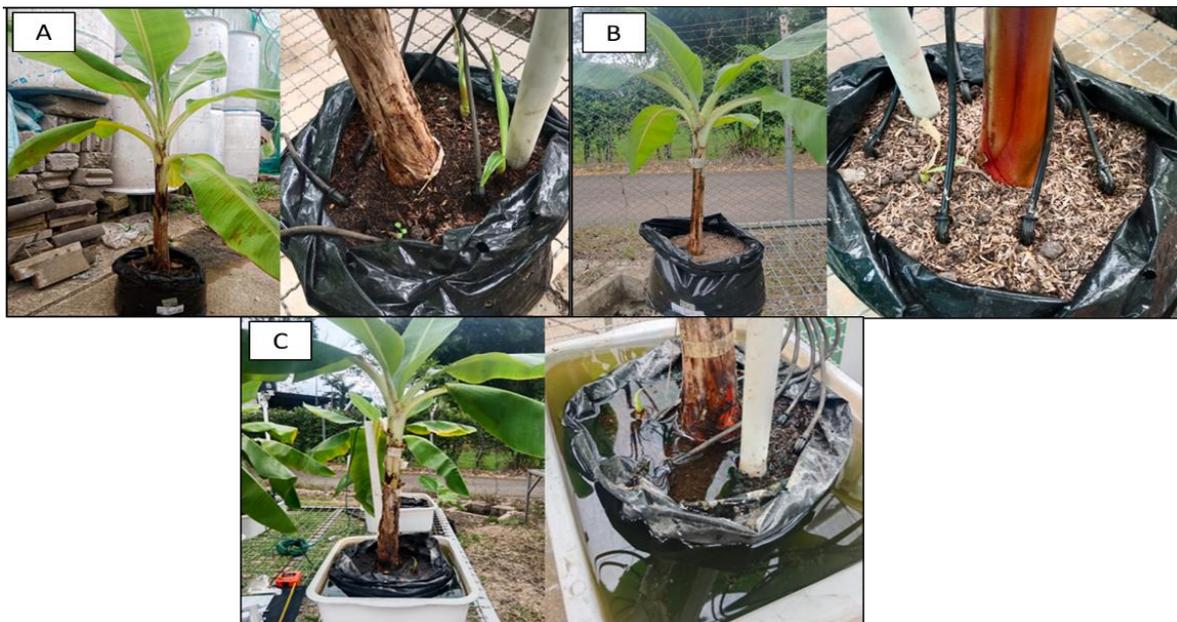


Figura 2. Diferentes tratamientos. (A) Capacidad de campo (control); (B) Déficit hídrico; (C) inundación.

Establecimiento bajo condiciones no controladas (Campo)

Se realizó en el campo experimental y demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa, ubicado a 1,6 kilómetros vía norte de la zona urbana del municipio de Carepa ($7^{\circ}46'48.2''$ N; $76^{\circ}40'23.0''$ W), sobre la margen izquierda de la carretera al mar, este cuenta con un área bruta de 35 ha y un área neta de 26,7 ha distribuidas en 12 lotes (Figura 3).

La investigación se desarrolló en el lote 9, clon Giant Cavendish, sub grupo Cavendish; tomando como criterios, homogeneidad en la textura de suelo: arcillosa, pH moderadamente ácido: entre 5.5 y 6, compactación del suelo: 1.5 megapascales (MPa) y la cercanía a la estación meteorológica para evitar al máximo variaciones de tipo microclimáticos. El lote cuenta con un área de 1,86 ha, una densidad de 2.771 plantas/ha y una textura en su mayoría franco arcillosa que tiende a variar entre limosa, arcillosa y arenosa en puntos determinados del lote.

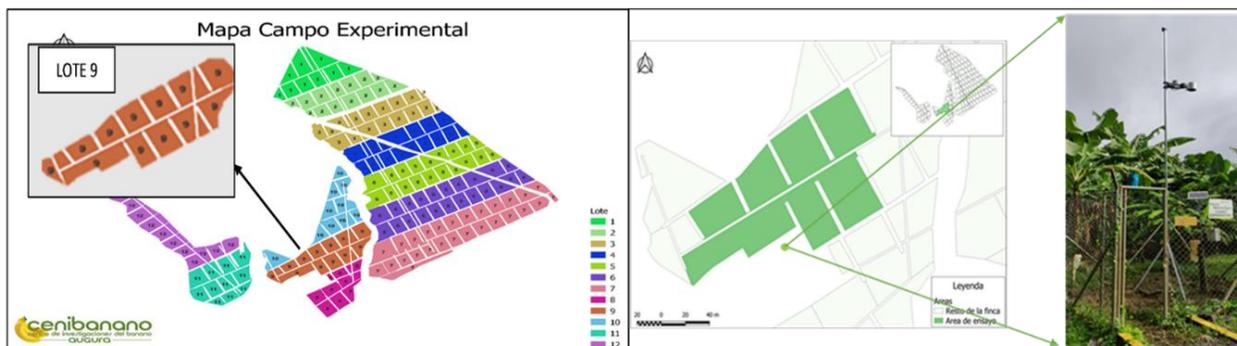


Figura 3. Mapa campo experimental, Ubicación del lote 9 y la estación meteorológica. Fuente: Augura.

Se evaluó la respuesta de las plantas ante factores ecofisiológicos. El monitoreo se realizó solo en la etapa de diferenciación o reproductiva, teniendo en cuenta que en evaluaciones anteriores se identificó que esta es la más propensa a sufrir agobio. Para realizar el monitoreo se dividió y seleccionaron 7 botalones (sublotes) del lote 9, los cuales están separados por canales y subdivididos en parcelas (correas), lo que dio como resultado un total de 23 correas. la población de estudio seleccionada fue de 115 plantas (5 plantas por correa) y las variables medidas fueron: a) Presencia o ausencia de agobio, b) cantidad de hojas agobiadas por planta y c) Amplitud térmica. El deshoje se realizó semanalmente, y posterior al monitoreo, con el fin de evitar cualquier alteración en los datos evaluados, por efecto de las labores culturales típicas de la finca. Se llevó a cabo el cálculo del coeficiente de correlación de spearman para examinar la relación entre la precipitación y temperatura con la incidencia de agobio.

RESULTADOS

Invernadero

Se observó que las plantas de T0 (capacidad de campo) alcanzaron mayor altura (45,1 cm), superando a los demás tratamientos en 4 a 5 cm (Figura 4A). Los tratamientos T1, T4 y T5 presentaron diferencias significativas con respecto a T0 ($p < 0.05$). Con respecto al diámetro del pseudotallo, se detectó que las plantas bajo déficit hídrico (con y sin CT) presentaron un diámetro más bajo, con una diferencia de 8 cm en comparación con los demás tratamientos, aunque solo T4 presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a T0, T2 y T5 (Figura 4B).

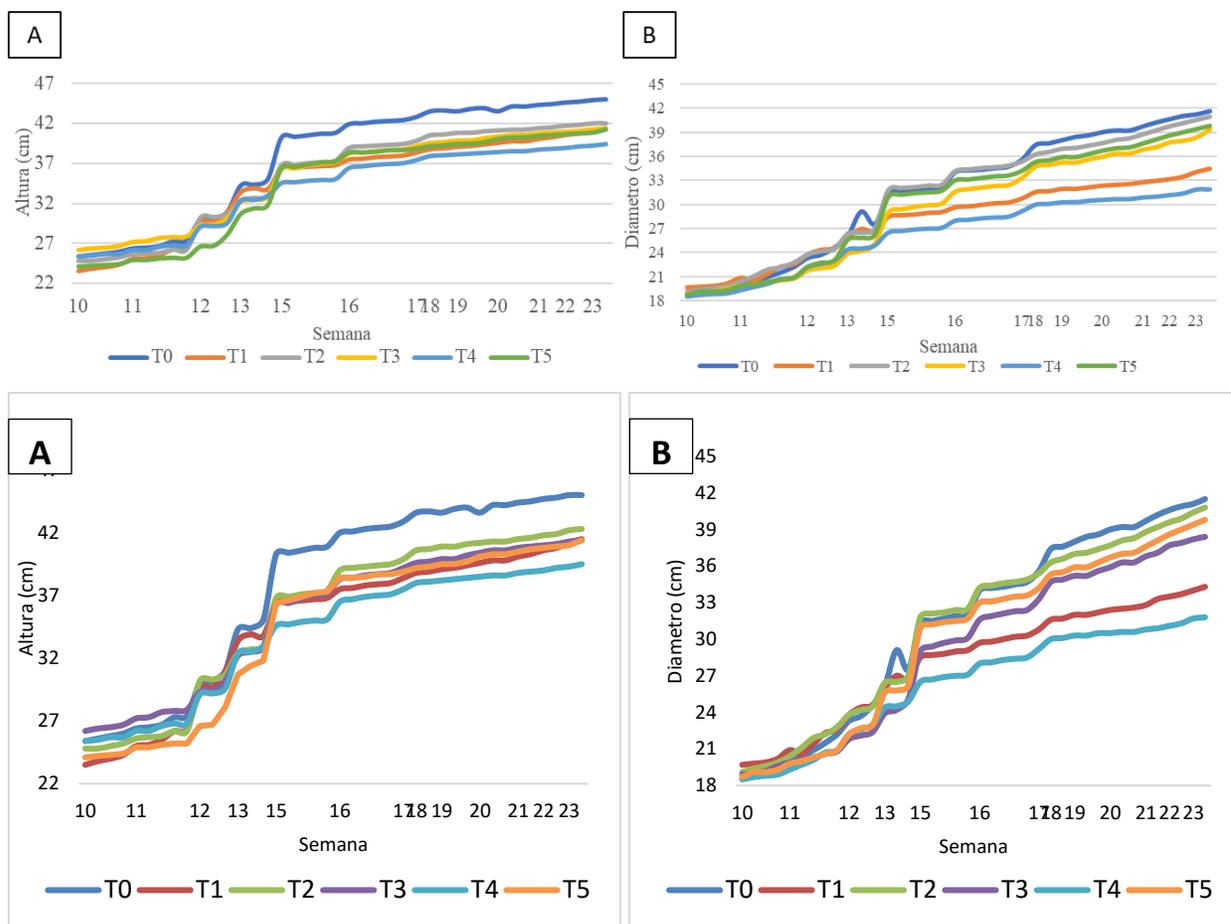


Figura 4. (A) Promedio de altura en plantas bajo invernadero; (B) Promedio o perímetro del pseudotallo.

Después de someter periódicamente las plantas a CT, se observó que cuando se producían aumentos en la diferencia entre las temperaturas máximas (ambiente) y mínimas (invernadero), conocido como amplitud térmica (ΔT), superiores a 8 grados, aumentó la presencia de casos de agobio en las plantas en un período de tiempo de 48 a 72 horas en un 183.3%. Adicionalmente es relevante mencionar que, durante las primeras 8 semanas de evaluación, se observó que los cambios en la ΔT en el invernadero eran mayores en 4°C , en comparación con el ambiente y se encontró que la mayoría de los casos de agobio se presentaron cuando la ΔT superaba los 8°C . Aunque hubo dos casos en los que las plantas experimentaron agobio con ΔT inferiores al promedio.

En contraste, en las evaluaciones realizadas en la semana 20 a la 23, se registró un ΔT ambiente mayor que el del invernadero, y esto coincidió con un pico en los casos de agobio (hasta 3 casos por semana), teniendo en cuenta que el lapso de tiempo fue

más corto. todas las plantas que sufrieron agobio en estas últimas semanas estuvieron expuestas a ΔT superiores a 8 °C. Sin embargo, la correlación entre la ΔT 24 y 48 horas antes de la presencia de agobio en plantas no presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) (Figura 5).

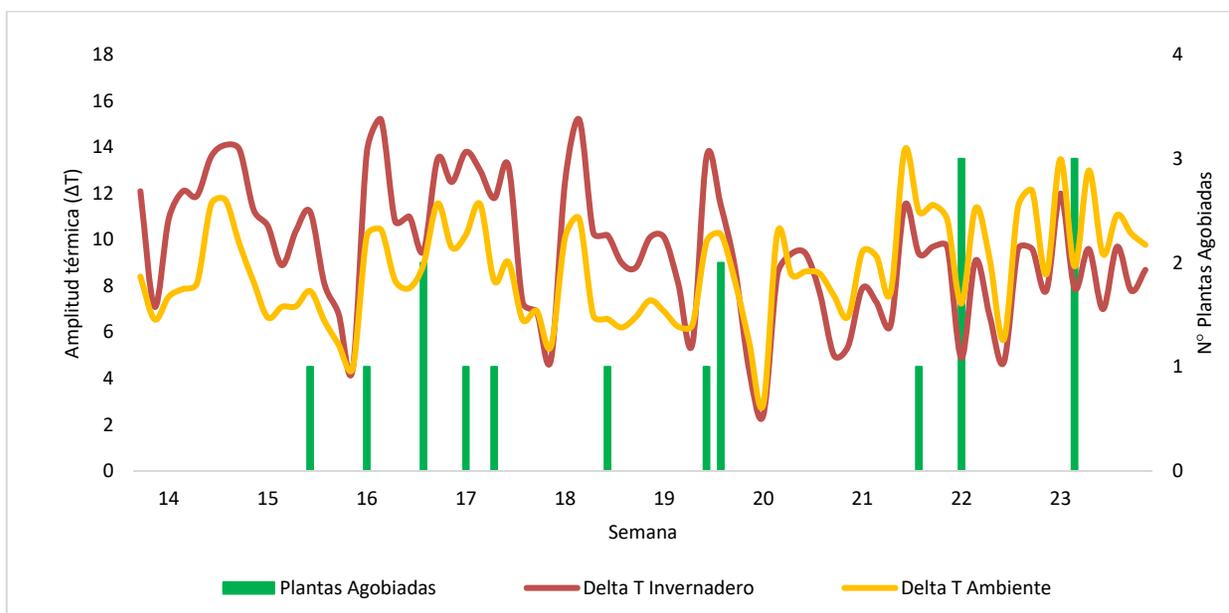


Figura 5. Impacto de la ΔT en la frecuencia de agobio en las plantas.

El agobio solo se manifestó en aquellas plantas que fueron sometidas a cambios de temperatura, con ΔT entre 4 y 5 °C, en un lapso de 7 horas. Esto sugiere que la combinación de estrés, junto con fluctuaciones altas en la ΔT , podría desencadenar la aparición del agobio, ya que hasta la semana 23, de las 17 plantas afectadas por el agobio, los tratamientos CTxDéficit hídrico y CTxInundación representan el 88% de los casos registrados y es importante destacar que el tratamiento de CTxInundación muestra una ligera ventaja en comparación con el otro tratamiento.

Se observó que la mayoría de las plantas mostraban predisposición al arpillamiento, excepto en el tratamiento de déficit hídrico, donde se encontró presencia a menor escala (figura 6A). Por otro lado, aunque se observó arpillamiento tanto en condiciones de capacidad de campo como de inundación, el número de hojas arpilladas en capacidad de campo fue menor en comparación con el tratamiento de inundación. Las plantas sometidas al tratamiento de inundación fueron altamente susceptibles al arpillamiento, ya que el 100% de las plantas bajo este tratamiento presentaron esta condición, y se encontraron plantas con todas sus hojas arpilladas, es importante mencionar, que este fenómeno es un indicador temprano de que las

plantas están experimentando situaciones de estrés, como exceso agua, deficiencias nutricionales o condiciones ambientales desfavorables (Feria et al, 2023) (Figura 6B). Adicionalmente en el tratamiento de inundación, tanto con choque térmico como sin él, se pudo observar la presencia de raíces adventicias en las plantas de banano. Estas raíces adicionales son una respuesta natural y adaptativa de la planta ante la falta de oxígeno en el suelo (Feria et all, 2023) Su función principal es permitir que la planta busque recursos adicionales y mantenga su crecimiento y desarrollo incluso en situaciones desafiantes (Figura 6C).

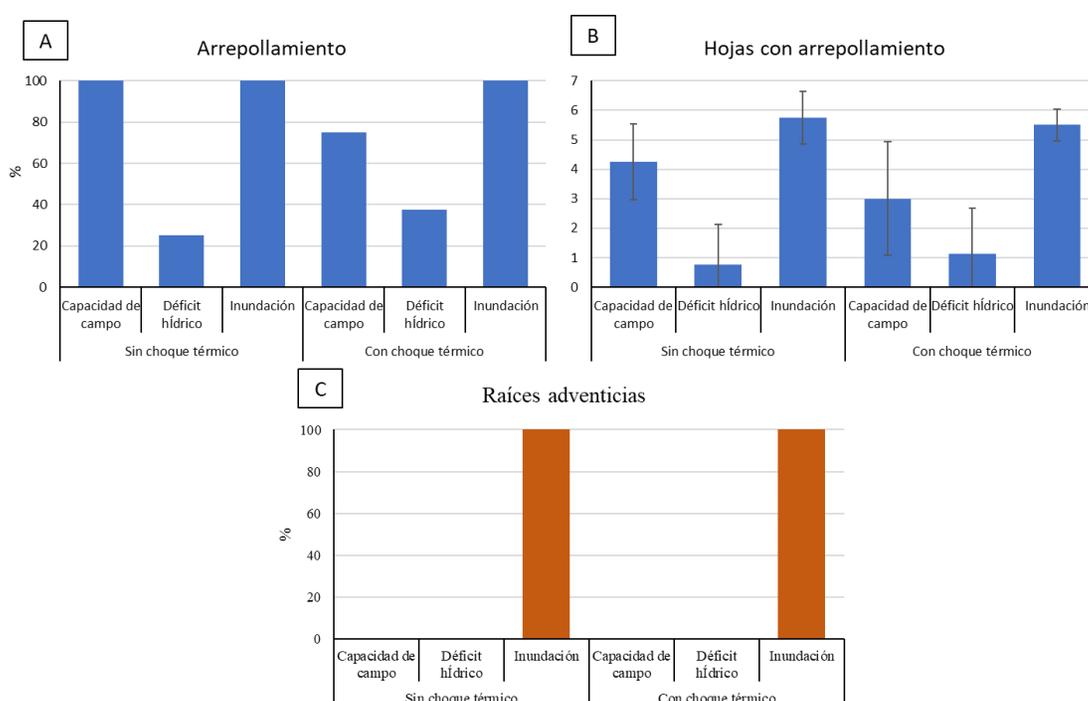


Figura 6. Comportamiento del arrepollamiento y raíces adventicias en los diferentes tratamientos. (A) severidad del arrepollamiento; (B) Numero de hojas arrepolladas; (C) presencia de raíces adventicias.

Campo

Se evaluaron 4485 plantas en el lote 9 de las cuales 686 presentaron agobio; en algunos casos la severidad era mayor, ya que se encontraron plantas hasta con 4 hojas agobiadas (Figura 7).

Los resultados revelaron que, en cuanto a la variación de la ΔT , el coeficiente de correlación más alto se observó en los intervalos de 72 y 48 horas, mientras que, en el caso de la precipitación, el valor más alto se registró a las 24 horas (Figura 8).



Figura 7 Severidad del agobio en plantas de banano.

correlación con clima

Agobio	deltaT_Sem	deltaT_72	deltaT_48	deltaT_24	Pre_sem	Pre_72	Pre_48	Pre_24	Agobio
	Corr: 0.332*	Corr: 0.512***	Corr: 0.476***	Corr: 0.395**	Corr: 0.114	Corr: 0.256.	Corr: 0.421**	Corr: 0.515***	

Figura 8. Correlación del agobio con la interacción de las variables climáticas (temperatura y precipitación). Los asteriscos (*) indican correlaciones significativas según el coeficiente de correlación de Spearman ($p < 0.05$).

En el lapso de 72 y 48 horas, se observó una clara tendencia al alza en relación de la ΔT y la manifestación de agobio. Es decir, se encontró que una ΔT superior a 8 °C precedía a la aparición de agobio, y a medida que este incrementaba, también aumentaba la probabilidad presentarse un episodio de agobio. Adicionalmente se observó que deltas de temperatura de 13 °C provocaron agobio en casi el 50% de la población evaluada (Figura 9).

Al realizar el análisis de la Figura 9, se puede observar que las mayores ΔT coinciden con una alta presencia de agobio. Sin embargo, también se aprecia que cuando la ΔT está por debajo del promedio, aún se registran casos de agobio. Por otro lado, existen situaciones en las que la ΔT supera el promedio, pero no se presentan casos de agobio. Estos hallazgos sugieren que la aparición de agobio no se debe únicamente a cambios repentinos de temperatura, sino que puede verse influenciada por otros factores, por lo tanto, resulta necesario continuar con las mediciones para obtener una respuesta más sólida y concluyente en el marco de esta investigación.

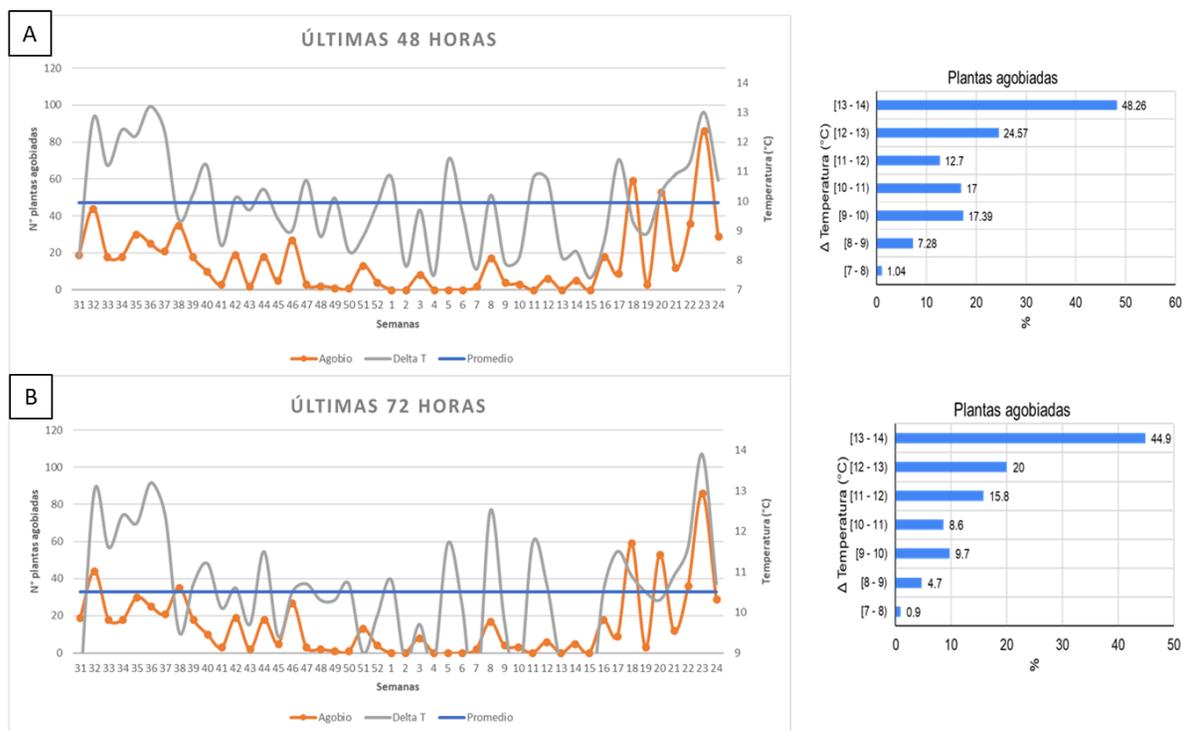


Figura 9. Relación entre la ΔT y aparición de agobio y la tendencia en función del delta de temperatura. (A) últimas 48 horas. (B) últimas 72 horas.

En relación a la precipitación acumulada, se observó que a medida que se reduce la escala de tiempo, existe una mayor correlación entre la precipitación acumulada y la aparición de agobio (Figura 10). Esto indica que la variable que mejor explica este comportamiento es la precipitación acumulada en un período de 24 horas. En las últimas semanas evaluadas se logró observar una tendencia similar entre el comportamiento de la precipitación acumulada y la manifestación de agobio, ya que a medida que aumenta o disminuye la precipitación, también se presenta el mismo patrón en los casos de agobio (Figura 10).

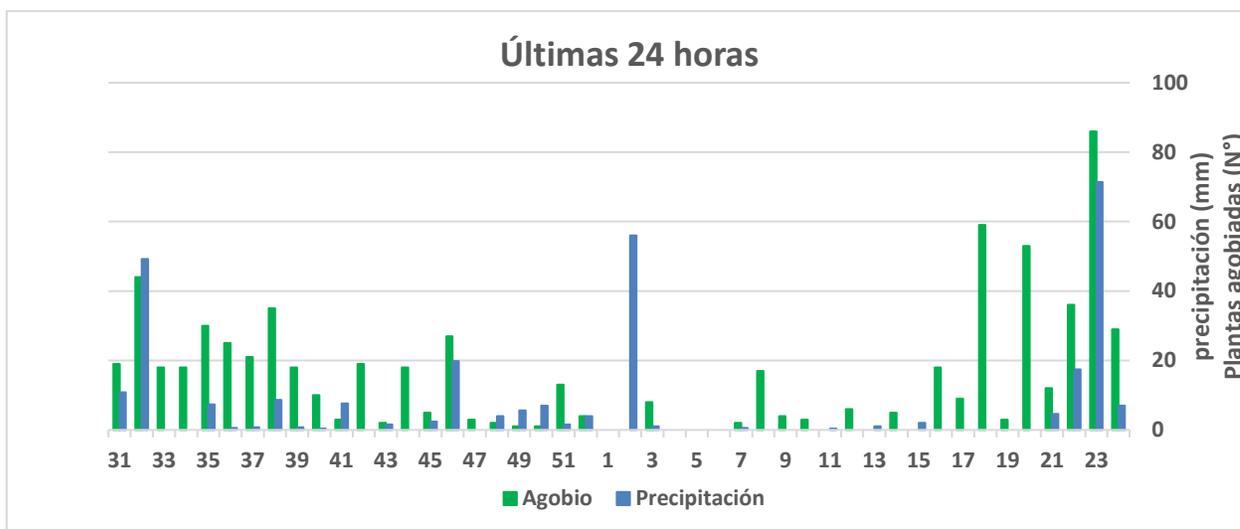


Figura 10. Relación entre la precipitación acumulada de 24 horas y la aparición de agobio.

DISCUSIÓN

El suministro adecuado y constante de agua es crucial para el cultivo saludable del banano. Sin embargo, tanto el anegamiento como el déficit hídrico pueden perjudicar las plantaciones de banano (Nilsen, 1996; Salazar et al., 2014). Así mismo la sensibilidad al estrés por temperatura es común en la mayoría de las especies vegetales, incluyendo el banano, y puede tener consecuencias significativas en su desarrollo, tanto las extremadamente altas, como las extremadamente bajas, en comparación con los umbrales ideales para cada planta, pueden desencadenar respuestas de estrés térmico, que afectan negativamente su crecimiento (Piedrahita et al., 2016).

Durante el estudio realizado, se observó que la cantidad de agua tuvo un impacto significativo en el comportamiento de las plantas, ya que los tratamientos sujetos a condiciones de inundación y déficit hídrico eran los más propensos, a experimentar agobio en combinación con CT, algo similar se ha observado en el cultivo de tomate, en donde reportaron que el estrés por déficit hídrico puede ocasionar el doblamiento de las hojas (Florido & Bao, 2014). Adicionalmente también se observó presencia de arpillamiento y las variaciones climáticas influyen en la severidad de éste (Domínguez et al., 2022; Nansamba et al., 2022).

El estrés por calor puede causar daños irreversibles en el metabolismo y el desarrollo de las plantas; es un fenómeno complejo que involucra la duración del

estrés, la tasa de su incremento y las temperaturas máximas alcanzadas (Porch & Pasillo, 2017), es por esto que el aumento de esta en todo el mundo se ha convertido en una gran preocupación, que no solo afecta el crecimiento de las plantas, sino también su productividad, especialmente en cultivos agrícolas como lo es el banano (Nilsen, 1996), que son sensibles a la sequía, en donde los efectos reportados incluyen retraso en el crecimiento, reducción en el tamaño y número de brotes y/o racimos, secamiento y quiebre del pseudotallo (Nansamba et al., 2022). En las plantas evaluadas en campo se observó alta incidencia de la ΔT en la aparición de agobio, este fenómeno puede atribuirse al impacto negativo de las altas temperaturas que afectan la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y el metabolismo secundario de las plantas (Chaves & Gutiérrez, 2017; Jarra et al., 2012).

Es fundamental considerar que, para determinar con certeza los factores desencadenantes del "agobio", se requiere realizar otras evaluaciones complementarias, entre ellas se incluye el muestreo y análisis de tejidos vegetales afectados, que permitan detectar posibles desequilibrios nutricionales que podrían estar relacionados con el agobio, así como la presencia de fitohormonas. Adicionalmente también se hace necesario incluir en el estudio otros factores ambientales que podrían estar implicados en la aparición de agobio; estas evaluaciones adicionales contribuirán a obtener una visión más completa de las causas del agobio en las plantas de banano.

CONCLUSIONES

En conclusión, el estudio sobre la aparición de agobio en plantas de banano reveló una clara influencia de la temperatura y la precipitación en este fenómeno. Se observó que las mayores ΔT estuvieron asociados a una mayor presencia de agobio, lo que sugiere que los cambios bruscos de temperatura desempeñan un papel importante en su manifestación. Además, se encontró una correlación entre la precipitación acumulada, especialmente en un período de 24 horas, y la aparición del agobio, indicando que la cantidad y distribución de la lluvia también influyen en este proceso.

Sin embargo, se identificaron casos en los que el agobio se presentó incluso con ΔT por debajo del promedio, lo que sugiere que otros factores pueden estar involucrados en su aparición. Por lo tanto, es fundamental continuar con las

mediciones y la investigación para obtener una comprensión más sólida y concluyente de los mecanismos subyacentes al agobio en las plantas de banano. Estos hallazgos brindan una base sólida para futuras estrategias de manejo y mitigación del agobio en el cultivo del banano.

REFERENCIAS

1. Arias, P., Dankers, C., Liu, P., & Pilkauskas, P. (2004). *la economía mundial del banano 1985-2002*.
2. Atkinson, N. J., & Urwin, P. E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: From genes to the field. In *Journal of Experimental Botany* (Vol. 63, Issue 10, pp. 3523–3544). <https://doi.org/10.1093/jxb/ers100>
3. AUGURA. (2023). *COYUNTURA BANANERA*.
4. Benavides, A. Cadavid, M. (2019). Identificación y manejo integrado de PLAGAS de Banano y Plátano en Urabá y Magdalena. ISBN: 978-958-95018-9-4.
5. Carvajal, M. (2016). *Impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre el cultivo de banano (Musa spp)*.
6. Chaves, B., & Gutiérrez, N. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. II. Tolerancia y tratamiento agronómico. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 255. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21904>
7. Domínguez, J., Mesczezen D, A., Silva R, C., Passos D, M., Rozane, D. E., & Nardini Gomes, E. (2022). *Arrepollamiento de banano asociado a variaciones climáticas y nutricionales*.
8. FAO. (2002). *Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030: informe resumido*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
9. FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*.
10. FAO. (2020). *Seguridad Alimentaria bajo la Pandemia de COVID-19 **.
11. FAOSTAT. (2019). *BANANA Statistical Compendium*.
12. Feria, D., Londoño, D. Zapata, S. (2023). ABC del cultivo de banano - Región de Urabá Estrategias técnicas para mejorar la productividad. ISBN: 978-958-52529. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24751.10402>
13. Florido, M., & Bao, L. (2014). *Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (Solanum lycopersicum L.)*.
14. Jangale, B. L., Chaudhari, R. S., Azeez, A., Sane, P. V., Sane, A. P., & Krishna, B. (2019). Independent and combined abiotic stresses affect the physiology and expression patterns of DREB genes differently in stress-susceptible and resistant genotypes of banana. *Physiologia Plantarum*, 165(2), 303–318. <https://doi.org/10.1111/ppl.12837>
15. Jarma, A., Cardona, C., & Araméndiz, H. (2012). *Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión*.
16. Londoño, D., Feria, D., & Zapata, S. (2022). *CENIBANANO (Selección oportuna y desmache)*. ISBN: 978-958-52529-4-3.
17. Martínez, A. M., Acosta, M., Gerardo, D., & Salinas, C. (2011). Dynamics of Growth and Development of Banana (Musa AAA Simmonds cvs. Gran Enano and Valery). In *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* (Vol. 64, Issue 2).
18. Moreno, L. P. (2018). *Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico*.
19. Nansamba, M., Sibiya, J., Tumuhimbise, R., Ocimati, W., Kikulwe, E., Karamura, D., & Karamura, E. (2022). Assessing drought effects on banana production and on-farm coping strategies by farmers — a study in the cattle corridor of Uganda. *Climatic Change*, 173(3–4), 21. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03408-w>

20. Nilsen, E. T.; O. D. M. (1996). *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*.
21. Panigrahi, N., Thompson, A. J., Zobelzu, S., & Knox, J. W. (2021). Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae*, 276, 109735. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109735>
22. Piedrahita, Y., Boza, J., & Muñoz Baquedano. (2016). *Efectos del cambio climático en la producción agrícola del banano en el cantón valencia*.
23. Pinzón, A., Fera, D., Pérez, G., Arango, L., Rey, V., Zapata, S. (2023). New proposed of standard area diagram scale for assessing black sigatoka in bananas. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3064196/v1>
24. Porch, T., & Pasillo, A. (2017). *Tolerancia al calor*.
25. PROCOLOMBIA. (2021). *BANANO EN COLOMBIA*. <https://procolombia.co/>
26. Salazar, E., Trujillo, I., Macías, M. P., Angélica Gutiérrez, M., Castro, L., Vallejo, E., Torrealba, M., & Autor, *. (2014). *Respuesta fisiológica al estrés hídrico de plantas de banano cv. "Pineo gigante" (Musa AAA) regeneradas a partir de yemas irradiadas*.
27. Soto, M. (2002). *BANANOS 1 Conceptos basicos*.
28. Soto, M. (2015). *BANANOS 2 (tecnologías de producción) (Vol. 2)*.
29. Stott, P. A., Allen, M., Christidis, N., Dole, R., Hoerling, M., Huntingford, C., Pall, P., Perlwitz, J., & Stone, D. (2011). *Attribution of Weather and Climate-Related Extreme Events*.
30. Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biosiversidad en américa latina*.
31. Xiong, L., Schumaker, K. S., & Zhu, J. K. (2002). Cell signaling during cold, drought, and salt stress. *Plant Cell*, 14(SUPPL.). <https://doi.org/10.1105/tpc.000596>

Estimación de la diferenciación meristemática en banano (*Musa AAA*) a partir del cálculo del área foliar

Ana María Martínez Acosta^{1*}; Daniel Gerardo Cayón Salinas², Enrique Darghan Contreras³

¹Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín; ²Universidad Nacional de Colombia, Palmira; ³Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

*Autor de

Correspondencia:

Ana María Martínez Acosta
ammartinez@elpoli.edu.co

Contribución:

Científica

Sección:

Fisiología y Bioquímica

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Martínez AAM, Cayón
SDG y Darghan CE.
2024. Estimación de la
diferenciación
meristemática en banano
(*Musa AAA*) a partir del
cálculo del área foliar.

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
17

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2417](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2417)

RESUMEN

La diferenciación meristemática es crucial en la formación de los componentes del rendimiento en banano, una fase en el desarrollo poco evidente. Se propuso generar un indicador basado en el área de la sección transversal del seudotallo para estimar el área foliar y asociarlo con la etapa fenológica. A través de este enfoque, se construyó un modelo que sigue el desarrollo del área foliar y vincula la emisión de la hoja número 12 con la diferenciación del meristemo en el banano. Este método ofrece una aproximación valiosa para determinar la fase fenológica (vegetativa o reproductiva) en la planta, lo que puede ser fundamental en la optimización del manejo del cultivo.

Palabras clave: alometría, seudotallo, etapas fenológicas, método no destructivo, Fisiología.

ABSTRACT

In meristematic differentiation, the components of banana yield are formed; however, it is a phase in the development of the plant, which, given its characteristics, is not evident. The objective was to generate an approximate indicator to determine the phenological stage (vegetative or reproductive) present. For this purpose, by evaluating morphological characters, a model was constructed to indirectly calculate leaf area by measuring the cross-sectional area of the pseudostem at 50 cm. It was established that the emission of leaf number 12 is an approximate indicator of meristem differentiation. These results provide tools for monitoring during crop growth.

Keywords: allometry, pseudostem, phenological stages, non-destructive methods, Physiology.



INTRODUCCIÓN

La productividad en cultivo del banano se relaciona directamente con el desarrollo de la planta, que se ve afectada por diversos factores que intervienen en su crecimiento. Principalmente sobre la diferenciación meristemática, fase crítica en la formación de las características del racimo, donde se originan los componentes del rendimiento (Sánchez y Mira, 2013; Robinson y Galán Saúco, 2010; Turner et al., 2007). No obstante, la evaluación del rendimiento se ha limitado a la medición del peso del racimo o el número de cajas exportadas, lo que no proporciona una visión integral del estado de la plantación. Hasta ahora no hay un variable que permita monitorear el estado del cultivo y asociarlo con su estado productivo. Considerando lo anterior, se definió como objetivo de esta investigación generar un indicador, aproximado, para determinar la etapa fenológica (vegetativa o reproductiva) presente en la planta.

Para alcanzar el objetivo, se consideró el área foliar lo largo del ciclo de cultivo como un posible indicador, sin embargo, el su monitoreo se dificulta por las características estructurales de la planta. Partiendo de parámetros morfométricos, se construyó un modelo para el cálculo de la variable.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se llevó a cabo en la finca de producción de banano de exportación, “Campo Experimental y Demostrativo Ramiro Jaramillo Ossa” que hace parte del Centro de Investigaciones del Banano-CENIBANANO y a la Asociación de Bananeros de Colombia- AUGURA. Se encuentra ubicada en el municipio de Carepa, departamento de Antioquia (Colombia) (7°46'22" N; 76°40'00" W, 40 m.s.n.m). La selección de plantas, el registro de datos, la toma de muestras, su procesamiento, y el análisis de la información se llevó a cabo entre las semanas 25 a 50 de 2018.

Cálculo área foliar (AF). Se escogieron 34 plantas de banano (*Musa* AAA subgrupo Cavendish cv. Williams) entre F10 y floración. En cada planta se cortaron todas las hojas y se numeraron según su posición. De cada hoja se midió el largo desde la base hasta el ápice y el ancho en su parte media (Figura 1).



Figura 1. A) Corte y numeración de su posición en todas las hojas presentes, B) medición de la hoja en la parte más ancha, en las plantas objeto de estudio.

El AF total presente se calculó siguiendo los modelos de: a) Belalcázar (1991); b) Kumar *et al.* (2002); c) cálculo de la masa seca de la hoja AF(DM), definido este último a partir de una muestra de la lámina foliar de 10 cm² o 5 cm², que, junto con el resto de la hoja, se llevó hasta peso constante; el AF total se calculó utilizando la relación entre el área y la masa seca de la muestra foliar, y la masa seca de toda la hoja.

Área de la Sección Transversal del Seudotallo (ASTS). En cada planta, se midió el perímetro del seudotallo cada 10 cm desde la base (cero relativo - suponiendo una forma cilíndrica con base circular) hasta la altura máxima (AM) identificado por el último par de hojas funcionales, también se hizo medición a $\frac{1}{3}$ y a $\frac{1}{2}$ de la AM (Figura 2).

Con estas mediciones, se calculó el área de la sección transversal del seudotallo (ASTS) (Ecuación 1), donde P_i representa el i -ésimo perímetro (cm) del seudotallo correspondiente a la i -ésima altura. A partir de los datos recogidos, se construyó una matriz de datos de dimensión 34 x 15, para un total de 510 registros.

$$ASTS_i = \frac{P_i^2}{4\pi}; i = \{10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, \frac{1}{3} AM, \frac{1}{2} AM, AM\} \quad (1)$$

También se hizo una categorización empírica de la fase fenológica de la planta, vegetativa o reproductiva, a partir del número de hojas emitidas y las variaciones

morfológicas identificables en la base de la lámina foliar (Borja *et al.*, 2018), ésta se usó como clasificación de referencia.



Figura 2. A) Medición de altura máxima delseudotallo, B) medición del perímetro delseudotallo a distintas alturas, en las plantas objeto de estudio.

Análisis estadístico. A partir de componentes principales se obtuvo un modelo no lineal de estimación indirecta del AF con la medida del ASTS a 50 cm. Luego se aplicó el análisis discriminante lineal de Fisher, relacionando el número de hojas emitidas y AF estimada, para obtener el punto de corte como centroide de los componentes extraídos relacionados con la etapa fenológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Modelo para cálculo del área foliar. Los valores calculados de Área Foliar difirieron significativamente entre los distintos métodos empleados entre el período desde F10 hasta la etapa de floración. Con el método propuesto por Kumar *et al.* (2002), el AF varió entre 0,07 m² y 14,37 m², mientras que utilizando el modelo de Belalcázar (1991), los valores fluctuaron entre 0,17 m² y 17,22 m². En contraste, el cálculo del AF basado en AF(DM) arrojó valores superiores en comparación con los métodos previamente

mencionados, oscilando entre 0,21 m² y 22,88 m². A pesar de las discrepancias en las mediciones del AF con cada modelo, se observó un patrón de desarrollo similar durante las distintas etapas fenológicas. Se identificó un menor AF en las plantas durante la etapa F10, posiblemente asociado a la fase juvenil de desarrollo. Luego, se registró un incremento exponencial durante la fase vegetativa, culminando con la diferenciación floral del meristemo apical, seguido de un aumento lineal del AF durante la etapa reproductiva, es decir entre la diferenciación y la floración. Estos hallazgos reflejan claramente la dinámica de desarrollo descrita por Lassoudiere (2007), Martínez y Cayón (2012), y Dépigny et al. (2015).

Con el análisis de los componentes principales estandarizados entre las medidas de ASTS y AF calculada por los tres modelos, se obtuvo un único componente extraído que explicaba más del 96% de la variabilidad de los datos, correlacionándolos con las diferentes medidas de AF y la sucesión de ASTS. Con base en el biplot generado y, por tanto, en la correlación entre el primer componente y las variables originales, se seleccionaron los coeficientes más altos asociados al ASTS y al modelo para el cálculo del área foliar.

El modelo AF(DM) asociado a la medida del ASTS a 50 cm (A50) fueron identificados como mejores predictores. A pesar de que AF(DM) reveló la mejor correlación en el cálculo del área foliar, su naturaleza destructiva implica una demanda considerable de tiempo, esfuerzo y recursos. Por lo tanto, se vuelve más conveniente optar por métodos de medición indirecta del área foliar, ya que estos pueden aproximarse al valor calculado originalmente sin riesgo de lesiones al sistema foliar. En la Figura 3 se presenta el modelado no lineal, donde se evidencia que la medida del ASTS a 50 cm, es un predictor adecuado para estimar el AF.

De acuerdo con los resultados, fue posible evidenciar que, desde el punto estadístico, existe una estrecha relación alométrica entre el ASTS y el AF, cabe destacar que estas relaciones son condicionales y están restringidas al contexto bajo el cual que se desarrollan. Aunque matemática o estadísticamente las relaciones parezcan ideales, no necesariamente podrían estar relacionadas con la realidad (Briggs, 2016). Los resultados obtenidos por Chang *et al.* (2018) validan los hallazgos en esta investigación, ya que también encontraron que la medida del diámetro del seudotallo es un predictor adecuado de otras variables de la planta, especialmente del AF. Así, la expresión final del proceso de modelización no lineal se presenta en la Ecuación 2.

$$AF = (-1.73785 + 0.29079 * \sqrt{ASTS\ 50})^2 \quad (2)$$

Donde AF corresponde a la medida calculada del área foliar, que permite estimar el desarrollo de la planta a partir de las hojas emergidas, y A50 es la medida del ASTS a 50 cm.

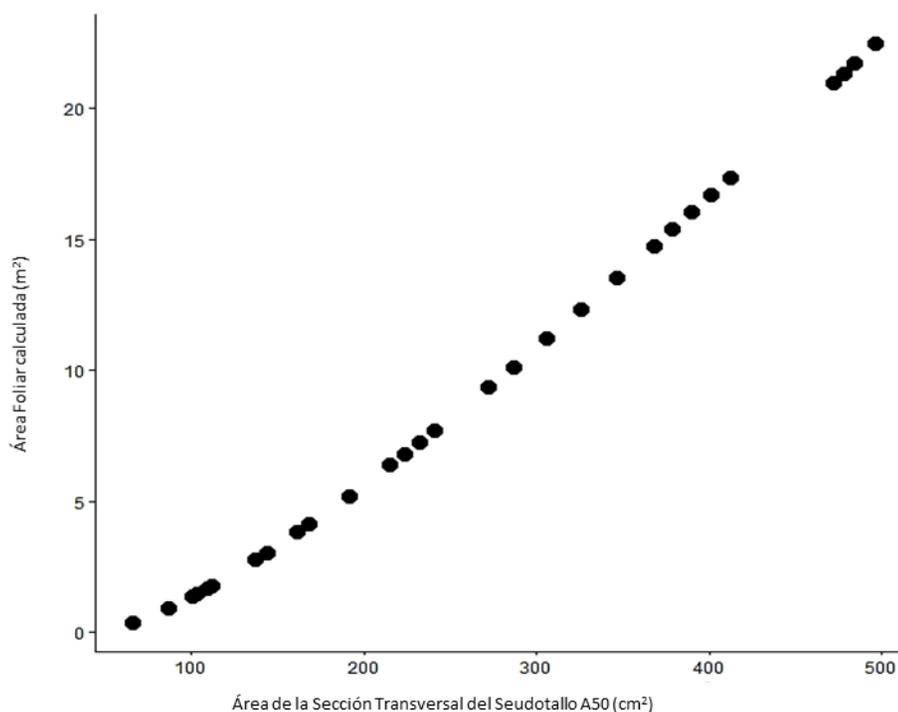


Figura 3. Modelo no lineal entre el área foliar en plantas de banano cv. Williams y el área de la sección transversal del seudotallo (ASTS) medida a 50 cm (A50) desde la base del seudotallo.

Los modelos propuestos por Belalcázar (1991), Kumar *et al.* (2002) o Dépigny *et al.* (2015) son funcionales, aunque su viabilidad puede verse limitada por la recolección de datos en el campo, especialmente en plantaciones de gran altura, donde la medición precisa de la(s) hoja(s) 1 y/o 3, representa un desafío. El empleo del modelo a partir de la medida del ASTS (Ecuación 2), podría resolver estas dificultades en el campo, evitando cualquier lesión en las hojas existentes.

Estimación de la diferenciación meristemática. Mediante un análisis más detallado de los datos que correlacionó la emergencia de hojas y el AF, se logró identificar el momento aproximado en el cual el meristemo apical transita de su condición vegetativa a reproductiva. La Figura 4 exhibe el diagrama de dispersión del AF calculado mediante el modelo no lineal (Ecuación 2) con relación al número de hojas emitidas,

dividiendo los datos según la clasificación inicial basada en la diferenciación del meristemo apical. Este gráfico ilustra la factibilidad de separar los puntos mediante un método que permita discriminar las variables.

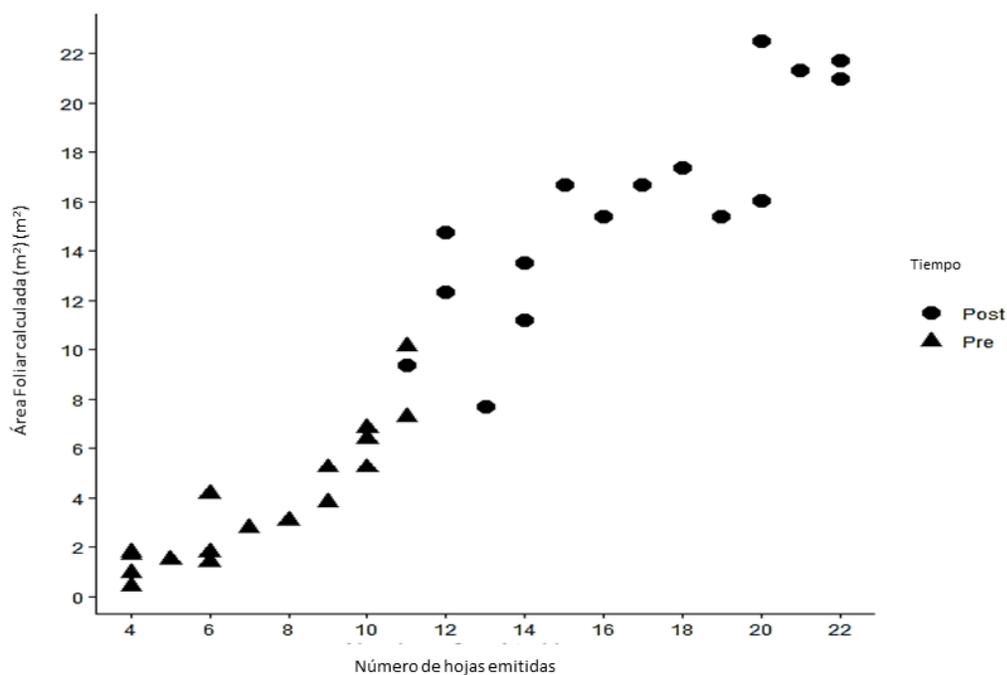


Figura 4. Análisis discriminante de Fisher utilizando la variable categórica asociada a la fase fenológica como clasificador. "Pre" corresponde antes de la diferenciación y "Post" después de la diferenciación.

Si siguiendo con este análisis, se puede observar en la Figura 5 el progreso del algoritmo que ilustra la secuencia de la emergencia de hojas se puede evidenciar que en la hoja número 12 se genera un porcentaje de clasificación correcta del 97,1%. Por tanto, se puede considerar que en la emisión de la hoja 12, aproximadamente, se presenta la diferenciación del meristemo y se da la formación de la inflorescencia - racimo.

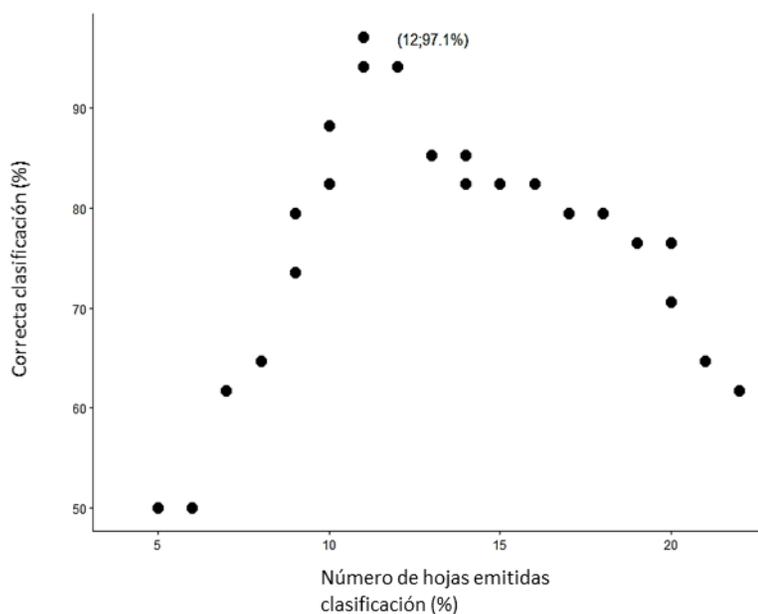


Figura 5. Progreso de la correcta clasificación (97.1%), utilizando el punto de corte obtenido como separador entre la fase vegetativa y reproductiva, en la emisión de la hoja # 12.

CONCLUSIONES

Dados los resultados obtenidos en esta investigación, es posible calcular el Área Foliar en banano cv. Williams, partir de mediciones del área transversal del seudotallo utilizando un enfoque alométrico. Así mismo, contar con la disponibilidad de una herramienta para estimar el desarrollo de la planta de banano, basada en el cálculo del AF antes de la emisión de la inflorescencia y durante el ciclo del cultivo, se podría constituir como un bioindicador relacionado con parámetros de producción y para la estimación del rendimiento.

Llevar registros cronológicos de la aparición de la hoja 12 puede utilizarse como referencia para obtener una medida, en tiempo, del desarrollo fenológico de la planta según las condiciones del entorno. Esta información, podría ser útil en diversas investigaciones, y en la implementación de prácticas de manejo como traslados de cosecha o estrategias de nutrición adaptadas a diferentes etapas fenológicas.

Estos resultados pueden ser de utilidad para investigadores de distintas áreas y para técnicos vinculados al sector bananero, como herramientas que faciliten la

implementación de enfoques diferenciales de producción, y como apoyo en la toma de decisiones de manejo agronómico.

Aunque el modelo demostró ser confiable para estimar el AF en banano cv. Williams, requiere ser validado en otros cultivares Cavendish. Es importante realizar más estudios en Musáceas para generen ecuaciones alométricas, donde se relacionen otros parámetros de desarrollo de la planta con medidas no destructivas, y que sean fácilmente obtenibles.

REFERENCIAS

1. Belalcázar S. 1991. El cultivo del plátano (*Musa* AAB Simmonds) en el trópico. Cali, ICA – CIID – CDCQ – INIBAP. Manual de Asistencia Técnica No. 50. Colombia. 358 p.
2. Borja Agamez W, Osorio JD, Herrera N, Sánchez JD. 2018. Fundamentos en fenología de banano Cavendish (*Musa* AAA) en cultivo establecido. Boletín Técnico.
3. Briggs W. 2016. Uncertainty. The soul of modeling, probability & statistics. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-39756-6>
4. Chang S, Wu Z, Sun W, Qiao L, Zeng Q, Zhang J, Shu H. 2018. A method to predict banana pseudostem's strength at seedling stage. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 9(9): 391–396.
5. Dépigny S, Achard R, Lescot T, Djomessi MT, Tchotang F, Ngando DE, Poix C. 2015. In vivo assessment of the active foliar area of banana plants (*Musa* spp.) using the OTO model. *Scientia Horticulturae*, 181: 129–136.
6. Robinson JC, Galán Saúco V. 2010. Banana and Plantains. *Crop Production Science in Horticulture Series*; 19. Mundiprensa 2nd edition. 311 p.
7. Kumar N, Krishnamoorthy V, Nalina L, Soorianathasundharam K. 2002. Nuevo factor para estimar el área foliar total en banano. *Infomusa*, 11(2): 42–43.
8. Lassoudiere A. 2007. *Le bananier et sa culture*. Quae, Collection Savoir-faire. 383 p.
9. Martínez AM, Cayón DG. 2011. Dinámica del crecimiento y desarrollo del banano (*Musa* AAA Simmonds cvs. Gran Enano y Valery). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2): 6055–6064.
10. Sánchez JD, Mira J. 2013. Principios para la nutrición del cultivo de banano. Asociación de Bananeros de Colombia. Medellín. 236 p

Evaluación de prácticas para reducir excedentes y programar cosecha basado en la fisiología del banano *Cavendish* (*Musa AAA*) en Urabá

Lina María Mestra-González¹; John Neider Restrepo-Alvarez²; Jaime Alberto Ortiz-Franco², J. Luis Barrera-Violeth¹, J. Danilo Sánchez-Torres³

¹Universidad de Córdoba, Colombia; ²Grupo Hacienda S.A.S.; ³Yara Colombia

*Autor de

Correspondencia:

Lina María Mestra-González
lmestra@fca.edu.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fisiología y Bioquímica

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Mestra-González LM, Restrepo-Alvarez JN, Ortiz-Franco JA, Barrera-Violeth JL y Sánchez-Torres JD. 2024. Evaluación de prácticas para reducir excedentes y programar cosecha basado en la fisiología del banano *Cavendish* (*Musa AAA*) en Urabá. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 18
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2418>

RESUMEN

Para reducir excedentes de fruta en el segundo semestre, dos prácticas fueron evaluadas en comparación con el libre crecimiento (Testigo) estas fueron “intervención específica”, basada en la detención del crecimiento del racimo durante el estado reproductivo (T2) y la eliminación del racimo en la emisión (T3). Se realizaron basados en el análisis poblacional de épocas de excedente de fruta. Se encontró que las plantas de la intervención específica, presentaron menor tiempo entre la identificación y la emisión del racimo, seguidas por las plantas en que se eliminó el racimo al momento de su emisión. La mayor emisión foliar ayuda a explicar la velocidad de crecimiento de los tratamientos. Las prácticas reducen el rendimiento biológico, pero desde el punto de vista económico evitan pérdidas.

Palabras clave: Fenología, estacionalidad, racimo, producción y rentabilidad, Fisiología.

ABSTRACT

To reduce fruit surplus in the second half of the year, two practices were evaluated in comparison with free growth (Control), these were "specific intervention", based on the arrest of bunch growth during the reproductive stage (T2) and the elimination of the bunch at emergence (T3). They were performed based on population analysis of times of fruit surplus. It was found that the plants of the specific intervention presented the shortest time between identification and bunch emission, followed by the plants in which the bunch was removed at the time of emission. The higher leaf emission helps to explain the speed of growth of the treatments. The practices reduce biological yield, but from an economic point of view avoid losses.

Keywords: Phenology, seasonality, bunch, production and profitability, Physiology.



INTRODUCCIÓN

El banano tipo Cavendish es la variedad más consumida y exportada, representando por lo menos el 100% de los bananos comercializados. IISD (2023) reporta que la cadena de valor proporciona empleo directo a millones de personas en todo el mundo. No obstante, los márgenes de los productores en banano dependen de la productividad obtenida por unidad de área, precio en el mercado y costos de producción.

Bebber (2022), basado en el IPC de estadísticas del Reino Unido afirma que el precio del banano ha descendido a un tercio del nivel de 1988. De otro lado, los costos de producción presentan mayor volatilidad, y se han incrementado debido al crecimiento de precios de insumos y transporte, así como los gastos derivados de la necesidad de mantener rigurosas medidas de mitigación de Foc-R4T en el mundo.

Los destinos de la fruta tienen mejores precios en I semestre del año asociado a una mejor demanda y durante el II semestre estos precios se reducen. Desde la oferta, la fruta cosechada en el I semestre en los países productores del hemisferio norte, crecen en condiciones climáticas adversas y es la que presenta mayores limitantes para producir. Es por esto, que se debe mejorar la productividad para mantener niveles óptimos de rentabilidad.

La región de Urabá presenta un periodo de sequía intenso en el primer trimestre y alrededor de 3000 mm el resto del año, ante esto las plantas responden a través del comportamiento en la dinámica de emisión de inflorescencias, peso de fruta y la expresión de desórdenes fisiológicos. Por esto, la estacionalidad en la producción de banano es marcada, con épocas de déficit (I semestre) y excedentes (II segundo) de fruta. Mientras haya condiciones extremas de clima, la variabilidad es mayor, lo que impacta la rentabilidad.

Por consiguiente, el incremento de productividad en banano tiene sentido si se aumentan los volúmenes de producción en los periodos de escasez y reducción de excedentes en las épocas que tradicionalmente se presentan. Por tal motivo, es crucial conocer los tiempos de crecimiento de una planta de banano, contar con modelos de producción de fruta que consideren su oferta, demanda y dinámica; a través de metodologías para programar cosechas que afecten en mínima instancia la productividad.

Existen diferentes prácticas realizadas por los productores para mitigar la estacionalidad de producción. Es por esto, que esta investigación se enfoca en evaluar 2 modelos de programación de cosecha uno tardío y el segundo basado en la fenología del cultivo de banano, buscando regular la dinámica de la producción, determinar tiempos de crecimiento, épocas de realización y seleccionar el mejor parámetro de identificación y metodología para trasladar cosechas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio, se tomaron 2 fincas bananeras pertenecientes al grupo Hacienda en la región de Urabá, la primera San Bartolo de 96 Ha, ubicada en la zona sur, municipio de Chigorodó con una precipitación alrededor de 3800 mm/año, y la segunda Santa Maria de 103 Ha, ubicada en la zona norte, municipio de Apartadó con una precipitación de 3000 mm/año.

Basados en análisis previo de evaluación poblacional realizado entre las semanas 14 a 18 del año 2021 a través de censos poblacionales, se estimó las semanas en que mayores excedentes de fruta se esperaba, esto sirvió como base para determinar el tipo de plantas a intervenir y las semanas de desarrollo de prácticas de intervención. Se realizó un diseño en bloques completamente al azar, conformado por 3 bloques con 3 tratamientos (T1, Testigo sin intervención del crecimiento de las plantas, T2 intervención específica en una fase de la etapa reproductiva, T3, eliminación del racimo al momento de su emisión, cada unidad experimental consistió en 15 plantas, para un total de 45 plantas por tratamiento.

Se procedió a identificar 45 plantas por bloque que se estimaban la cosecha de sus racimos entre las semanas 35 a la 44, tradicionalmente época de excedente de fruta, estas plantas en las semanas 20 -22 del año 2021 se encontraban en etapa reproductiva, diferenciación + 6 Hojas verdaderas (D+6) para los 3 tratamientos, es decir, entre 16 a 18 hojas emitidas después de la primera hoja verdadera que marca la independencia del hijo en sucesión y la cual es caracterizada por tener un ancho igual o superior a 10 cm (F10) (Borja-Agamez et al., 2018 ; Lassoudière, 2007- Sánchez y Mira,2013). Luego de la selección se asignaba de forma aleatoria las plantas a uno de los tres tratamientos.

El tratamiento testigo (T1), las plantas seleccionadas siguieron su crecimiento y desarrollo normal hasta llegar a la cosecha de la fruta y desarrollo de la siguiente generación (hijo en sucesión). Este tratamiento sirvió como referencia para conocer la

dinámica normal de emisión del racimo y semana de cosecha de las plantas no intervenidas. La intervención específica (T2), este conjunto de plantas se les realizó la eliminación del punto de crecimiento de la inflorescencia (obstrucción del ascenso) a través de la inserción de una estaca (7 cm ancho x 20 cm de largo) a 1,5 m de altura desde el suelo y eliminación del sistema foliar total, dejando en pie el seudotallo como reserva a las 2 semanas se realizó la selección el hijo en sucesión, manteniendo la sincronización y el vigor de la planta.

El tratamiento (T3) consistió en que a las plantas seleccionadas se permitió el crecimiento normal y una vez emitido el racimo este se eliminó, dejando solo el seudotallo en pie como reserva nutricional para el hijo en sucesión seleccionado que se encontraba finalizando la etapa juvenil e iniciando la vegetativa independiente, donde ya existía F10 +2-3 hojas verdaderas, reafirmando su sincronización con respecto a la madre.

A partir de la semana 21 se evaluó la emisión foliar del hijo en sucesión hasta la emisión del racimo y en tiempo transcurrido entre la semana 21 (semana base de la intervención específica) hasta la emisión del racimo. Se realizó el análisis estadístico para (1) El tiempo transcurrido hasta la emisión del racimo, para esto se tuvo como referencia la semana base de identificación de plantas (semana 21), donde los hijos de sucesión seleccionados, en los tres tratamientos, se encontraban en similar estado fenológico; (2) La emisión foliar de las plantas seleccionadas. Se utilizó el programa de Microsoft Excel para realizar el análisis descriptivo y presentar las medias y la dispersión de las plantas evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emisión de la inflorescencia

Los hijos en sucesión evaluados para cada tratamiento de las plantas seleccionadas en D+6 hojas, para cada una de las fincas San Bartolo y Santa María mostraron intervalos de tiempo a floración de 26,6 y 26,7 semanas en promedio para el T2(Intervención específica), para el T3 (Eliminación de la inflorescencia) 28,6 y 28,2 semanas en promedio y para el T1 (Testigo) de 33,0 y 33,1 semanas respectivamente (Figuras 1 y 2).

Los intervalos de emisión de la inflorescencia entre fincas son muy similares para cada tratamiento. Las plantas a las cuales se les realizó la intervención específica, tuvieron un 19% menos de tiempo a floración, comparado con plantas que se desarrollan normalmente. Este tiempo fue entre un 13 y 15% menor cuando se elimina el racimo en el momento de su emisión en comparación con el testigo.

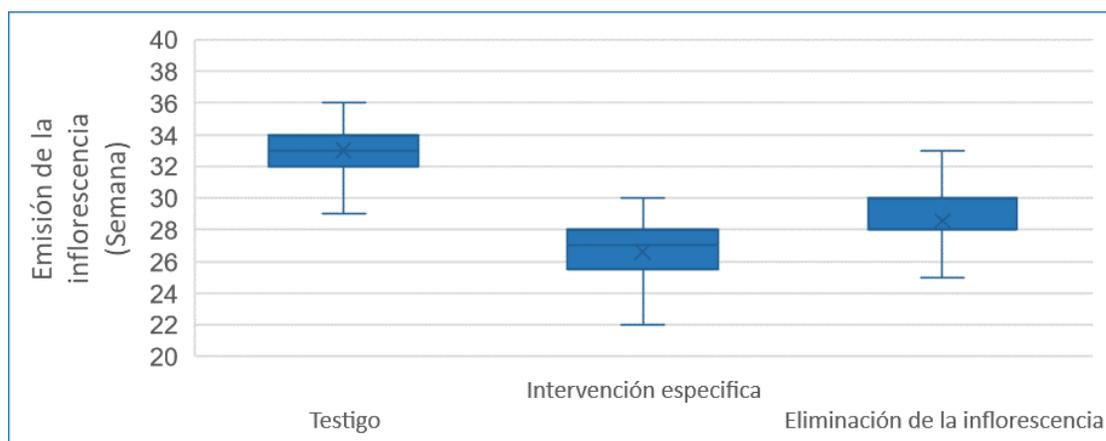


Figura 1. Emisión de la bacota plantas intervenidas de cada tratamiento en la Finca San Bartolo.

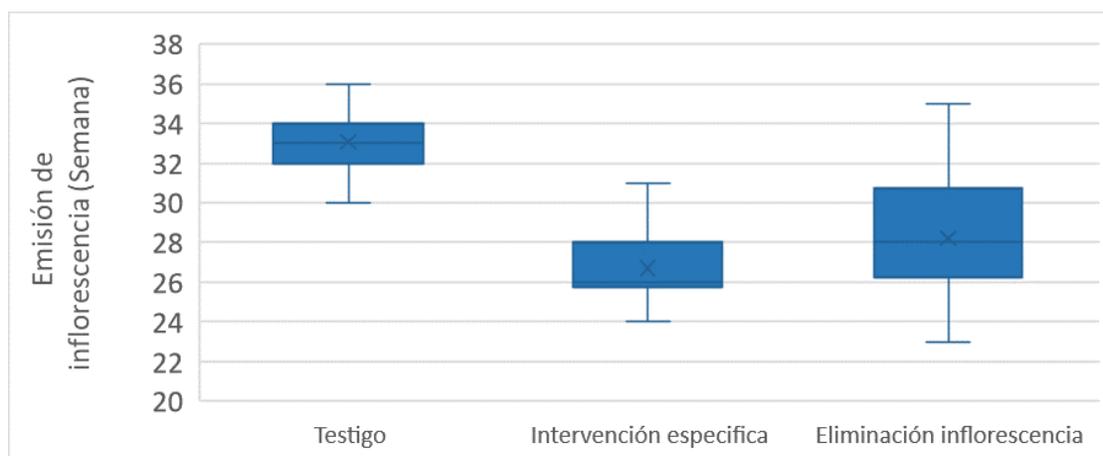


Figura 2. Emisión de la bacota plantas intervenidas de cada tratamiento en la Finca Santa María.

Desde el punto de vista de rendimiento biológico, el tratamiento testigo sin intervención, da origen a un mayor número de racimos, sin embargo, si se estimaron

como potencialmente excedentes con un adecuado censo poblacional, y efectivamente lo son, normalmente tienen un menor pago en el mercado del 45 a 60% del precio de venta contratado para la fruta no excedente. Los costos estimados de producción de banano oscilan entre el 75% y el 90% de precio de venta de la fruta no excedente, lo que indica que el precio de venta de la fruta excedente no compensa sus costos de producción y al contrario generaría pérdidas económicas para el productor. Entre mayor sea el número de racimos excedentes, mayores son las pérdidas económicas. De allí la importancia de un adecuado análisis poblacional.

Por otro lado, la intervención específica y la eliminación del racimo logran efectivamente quitar fruta de las semanas de excedente y aunque hay una disminución en términos de rendimiento biológico, no hay pérdidas económicas; su retorno acelera el crecimiento dando origen a racimos económicamente viables más rápido en comparación con el tratamiento testigo.

Al comparar la intervención específica versus la eliminación del racimo en su emisión, se presentó una diferencia de 2 semanas, siendo más acelerada la producción del nuevo racimo con la intervención específica. Un beneficio a resaltar con la intervención específica, es que tienen menores costos de producción en comparación con aquellas en que se espera la emisión del racimo para su eliminación, en plantas con adecuadas frecuencias de aplicación de fertilizantes; existe un ahorro de 2 a 3 ciclos de fertilización que pueden representar entre el 25 al 38% del costo de fertilizante por unidad productiva.

Emisión foliar

En las figuras 3 y 4, los resultados obtenidos muestran que la emisión foliar varió entre los tratamientos, para el Testigo: 0,68 y 0,70 en San Bartolo y Santa María respectivamente; con la eliminación del racimo fue de 0,79 Y 0,79, y para la intervención específica: 0,89 y 0,88, la mayor velocidad de emisión del tratamiento de la intervención específica con respecto a los otros dos tratamientos, se explica por la inducción del crecimiento acelerado de los hijos seleccionados posterior a la intervención, esto explica el menor tiempo a la emisión del racimo.

De acuerdo con Mira *et al.* (2004), la emisión foliar por semana en la planta de banano, está influenciada por las condiciones climáticas durante el año y manejo agronómico de la plantación.

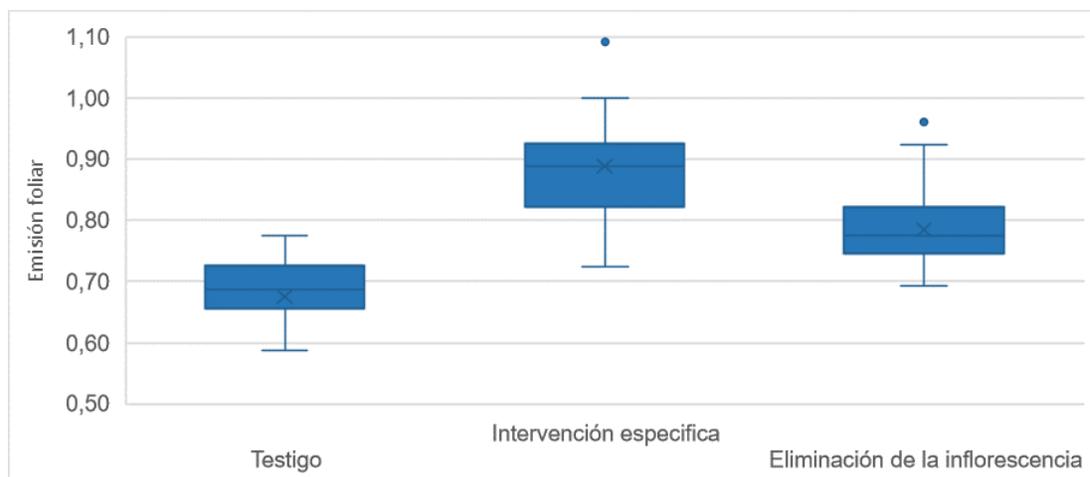


Figura 3. Emisión de las hojas emitidas en banana Cavendish para cada uno de los tratamientos en la finca San Bartolo.

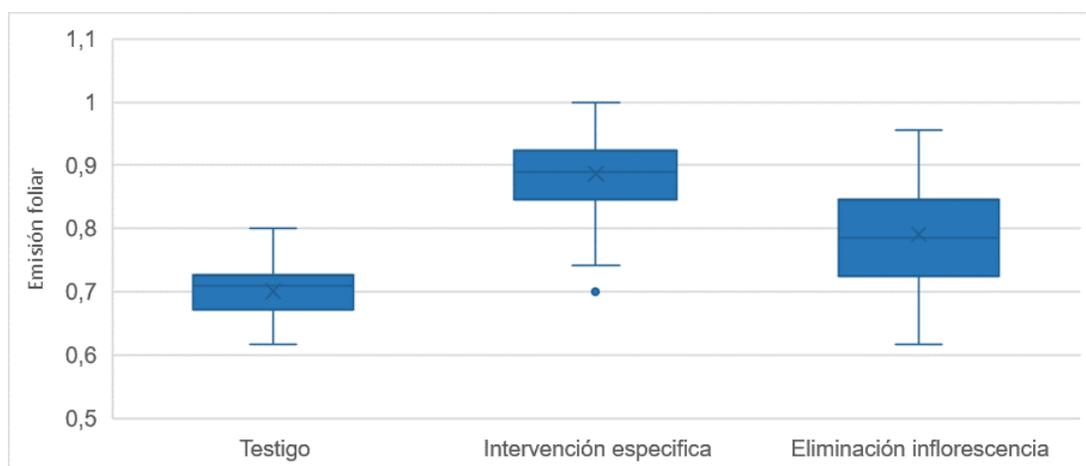


Figura 4. Emisión de las hojas emitidas en banana Cavendish para para cada uno de los tratamientos en la finca Santa María.

Al tener una emisión foliar mayor, indica que fenológicamente las plantas puedes cumplir sus etapas con mayor velocidad y obtener fruta en menor tiempo, para las condiciones de mercado.

CONCLUSIONES

La intervención específica y la eliminación de la inflorescencia son prácticas adecuadas para la programación de cosecha en banano, ya que reducen los excedentes de fruta en el segundo semestre donde el valor pagado es menor que en primer semestre, estas prácticas deben realizarse basadas en un análisis previo análisis poblacional donde sea considerado el porcentaje de fruta excedente.

La implementación de la práctica de intervención específica requiere de un mayor conocimiento sobre aspectos de desarrollo y crecimiento del cultivo del banano, pero tiene mejores beneficios debido a que las plantas que son intervenidas han tenido menores costos de producción y sus hijos de sucesión producen racimo más rápidamente.

REFERENCIAS

1. Bebbber, D. 2022. The long road to a sustainable banana trade. *Plants People Planet* 667: 6
2. Borja-Agamez, W., Osorio, J.D, Herrera, N. Sánchez, J.D. 2018 Fundamentos en fenología de banano Cavendish (Musa AAA) en cultivo establecido. *Boletín* 1 2018. CENIBANANO-AUGURA.
3. IISD 2023. <https://www.iisd.org/publications/report/global-market-report-banana>. Consulta el 15 de Noviembre de 2023
4. Lassoudière, 2007. *Le bananier et sa culture*. Versailles Cedex, France. 384 p
5. Mira, J., Díaz, A., & Hernández, M. (2004). Influencia del régimen de lluvias sobre la productividad bananera de Urabá. In *Memorias. XXXIV Congreso Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal*. COMALFI, Bogotá (Vol. 72).
6. Sánchez D, Mira J, 2013. *Principios para la nutrición del cultivo del banano*. Medellín, Colombia. 236 p.

Aspectos metodológicos en estudios de técnicas de manejo del racimo de bananos y plátanos, sobre las variables de producción

Luiz Alberto Lichtemberg^{1*}

¹Investigador jubilado de la estación experimental de Itajaí – Epagri, Itajaí, SC, Brasil.

*Autor de

Correspondencia:

Luiz Alberto Lichtemberg
lhtpai@gmail.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fisiología y Bioquímica

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Lichtemberg LA. 2024.
Aspectos metodológicos en
estudios de técnicas de
manejo del racimo de
bananos y plátanos, sobre
las variables de producción.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
19
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2419](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2419)



RESUMEN

Los estudios de prácticas de manejo del racimo de musáceas, con fines de mejorar el tamaño y peso de los frutos presentan, muchas veces, resultados no significativos y hasta contradictorios. Además de los problemas de variabilidad del suelo, clima, estación del año, cultivares y manejo del cultivo, la variabilidad de los racimos dentro del área experimental, la fase de desarrollo de los racimos, la época y forma de aplicación de los tratamientos y delineamientos experimentales inadecuados pueden resultar en grande variabilidad en los datos obtenidos. En este trabajo se discute estudios de embolse, desmane y deschira, así como las metodologías usadas y formas de reducir la variabilidad de los resultados.

Palabras clave: *Musa* spp., embolse, desmane, remoción de la bellota, desperillado, deschira, Fisiología.

ABSTRACT

In musaceas, the studies addressing bunch cultural practices, aiming to improve fruit size and bunch weight, have commonly presented the absence of statistical significance and in some cases contradictory results. Besides the effects that soil profile, climate, season, cultivars and crop management can cause; the variability of banana bunches within the experimental area, bunch development stage, period and application timing, and inadequate experimental design can result in large data variability. The objective of this study is to discuss several bunch cover, dehanding and debudding studies, as much as, to suggest methodologies to reduce result variability.

Keywords: *Musa* spp., bunch covers, bagging, dehanding, hands reduction, flower bud removal, debudding, Physiology.

INTRODUCCIÓN

Estudios de prácticas de manejo del racimo de bananos y plátanos, con fines de mejorar el tamaño y peso de los frutos y la duración del ciclo floración-cosecha, presentan, muchas veces, resultados no significativos y hasta contradictorios. Además de los problemas de variabilidad del suelo, clima, estación del año, cultivares y manejo del cultivo, la variabilidad de los racimos dentro del área experimental, fase de desarrollo de los racimos, época y forma de aplicación de los tratamientos, método de evaluación y delineamientos experimentales inadecuados pueden resultar en grande variabilidad en los datos obtenidos. En el sur de Brasil, por su clima subtropical y por la irregularidad del suelo, sobre todo en siembras en laderas, ocurre grande variación en el tamaño de los racimos y en número de días entre cosechas, según las distintas estaciones, semanas y años, la ubicación de la mata y el espacio entre ellas. En Itajaí, Santa Catarina, Lichtemberg et al. (2015), en cinco años de estudios, detectaron ciclos floración-cosecha de 82 hasta 214 días, en racimos de grande enano. En el mismo local, Negreiros y Maro (2015), estudiando tres ciclos del banano grande enano, verificaron grande variación en el perímetro del pseudotallo, medido en la floración, y en el período floración-cosecha, entre las estaciones del año. En zonas tropicales, también hay épocas climáticas favorables y adversas al desarrollo del racimo, con influencia en los resultados obtenidos (Vargas-Calvo y Valle-Ruiz, 2011). El embolsado de los racimos de banano y plátano es una práctica corriente, que según Lichtemberg (1996) visa aumentar el peso de los racimos y de los frutos, acortar el período floración-cosecha, mejorar la coloración de la cascara y reducir los daños mecánicos y biológicos a los frutos. La longitud y el diámetro del fruto son muy importantes en la clasificación y comercialización del banano y del plátano. El desmane y el desperillado son prácticas que visan mejorar el tamaño y peso de los dedos cosechados. En este trabajo se hace una revisión de la bibliografía de estudios de manejo del racimo, discutiendo la metodología utilizada y formas de reducir la variación no debida a los tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo es una revisión de literatura acerca de la experimentación con técnicas de manejo del racimo de bananos y plátanos. Así, se hizo una revisión de publicaciones sobre protección de racimos con bolsas, reducción de manos del racimo y eliminación de la inflorescencia masculina del racimo. Fueran relatados los resultados obtenidos en diversos estudios, así como discutidas las diferencias en la metodología usada y sus consecuencias en la variación exógena a los tratamientos y en los errores experimentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Embolse de racimos

En experimentos sobre la protección de racimos con bolsas hay una grande cantidad de publicaciones sobre materiales (polietileno, tnt y papeles), colores, transparencia, densidades, perforaciones, espesores, dimensiones, aditivos (protectores ultravioleta e infrarrojo, insecticidas y repelentes) y épocas y formas de aplicación del embolse. Los primeros estudios, hechos por Berril (1956) tenían por objetivo la protección del frio y la sanidad del racimo, pero luego se pasó a estudiar sus efectos en el tamaño y calidad de los frutos. Resultados disímiles fueran encontrados en trabajos de diferentes autores, lugares y climas, con diferentes cultivares y distintos métodos de experimentación y evaluación. El aumento del peso de los racimos y de las dimensiones de los frutos son reconocidos por diversos autores (alves et al., 1995; belalcázar carvajal, 1991; moreira, 1987 y soto balletero, 1992). Mientras que daniells et al. (1987) obtuvieran resultados en esto sentido, sampaio y simão (1970), costa et al. (2002) y silva filho y moreira (2005) no verificaran efectos significativos del embolse, en sus trabajos. En estudio de tipos y colores de bolsas, lichtemberg et al. (1998), verificó incremento de peso en relación a los racimos no embolsados. Mientras lichtemberg et al. (2012) detectaran diferencias entre bolsas de dos tipos de materiales y cayon et al. (2003) encontraran diferencias entre distintos colores del polietileno de las bolsas, vargas et al. (2010) y vargas-calvo y valle ruiz (2011) no observaran cualquier efecto en el peso de los racimos, ni en las dimensiones de los frutos cosechados en diferentes colores y materiales analizados. Otros estudios del embolse de racimos, sobre las dimensiones de los frutos y el período entre la emisión floral y la cosecha, presentan distintos resultados. Mismo que se considere que el embolse de los racimos propicie la cosecha de frutos más grandes y que acelere el desarrollo del fruto (belalcázar carvajal, 1991; moreira, 1987 y soto balletero, 1992), algunos estudios no confirman estos resultados. Mientras daniells et al. (1987) y lichtemberg et al. (1998) obtuvieran frutos más largos y gruesos en racimos embolsados, rodrigues et al. (2001), costa et al. (2002), silva filho y moreira (2005) no detectaran resultados significativos para estas variables. Por otro lado, rodrigues et al. (2001) y costa et al. (2002), verificaran un acortamiento del periodo entre la emisión de la inflorescencia y la cosecha en racimos embolsados.

Poda de manos de los racimos

Trabajando con banano lacatan, en filipinas, boncato (1969) observó que la reducción del número de manos del racimo causaba la cosecha de manos más pesadas y aumentos en longitud, grosor y peso de los dedos. Vargas y blanco (2000) consideran las informaciones sobre los efectos del desmane escasas, contradictorias y fragmentadas, debido a metodologías de instalación y evaluación distintas, nos

diversos ensayos. El desmane provoca una disminución en el número de frutos cosechados y consecuente reducción del peso del racimo (Danniels et al., 1987; Rodríguez et al., 1987; Irizarri et al., 1992; Rodríguez et al., 2002; delgado et al., 2003; Hasan et al., 2006; Rodríguez et al., 2006 y calvo, 2010). Sobre sus efectos benéficos, boncato (1969); Meyer (1975); Lichtemberg et al. (1991); Hasan et al. (2006) y Donato et al. (2020) obtuvieron frutos más pesados en los racimos que tuvieron reducción del número de manos. Frutos más largos fueron observados en racimos que recibieron poda de manos en estudios de boncato (1969); Meyer (1975); calvo y soto (1984); Rodríguez et al. (1987); Irizarri et al. (1992); Lichtemberg et al. (1991); Johns (1996); Hasan et al. (2006); Rodríguez et al. (2006); calvo (2010) y Donato et al. (2020) y frutos más gruesos fueron cosechados por Rodríguez et al. (1987); Lichtemberg et al. (1991); Hasan et al. (2006); Rodríguez et al. (2006); calvo (2010) y Donato et al. (2020). Rodríguez et al. (2002) obtuvieron resultados distintos en diferentes ciclos de producción. Vargas y blanco (2000) no observaron mejoras en dimensiones y peso de frutos, en manos de la misma posición en el racimo. Delgado et al. (2003) no observaron diferencias en estudios de desmane del plátano fhia-21. La reducción del tiempo entre la emisión floral y la cosecha, en racimos con reducción de manos, fue verificada por Hasan et al (2006), pero no por calvo (2010); Rodríguez et al. (2002) y Daniels (1987).

Poda de la bellota del racimo

La remoción de la inflorescencia masculina o bellota, nombrada desperillado o deschira, según muchos autores permite la producción de racimos más pesados (baghdadi et al., 1959; trupin, 1959; boncato, 1969; sampaio e simão, 1970b; rodriguez, 1974; lichtemberg et al., 1991 y soto et al., 2001), con frutos más largos (lichtemberg et al., 1991 y soto et al., 2001) y con diámetro más grande (soto et al., 2001). Pero, estudios de souza et al. (1971) y pereira et al. (1981), con bananos y plátanos aab, no verificaron estos efectos. Además, baghdadi et al. (1959); rodriguez (1974); lichtemberg et al. (1991) y soto et al. (2001) verificaron una reducción en el tiempo entre la floración y la cosecha de los racimos.

Ensayos de manejo de racimos

En experimentación, una de las premisas básicas es comparar las cosas en condiciones iguales, por eso el control local es primordial para evitar causas de variación externas a los tratamientos. Si las áreas de cultivo uniformes y diseños experimentales como bloques completos al azar, completamente aleatorios, cuadrado latino, parcelas divididas, entre otros, son adecuados a los experimentos de riego, nutrición y competición de cultivares, lo mismo no se pasa con experimentos de técnicas de manejo del racimo, pues los racimos pueden presentar características muy

distintas dentro de una misma parcela experimental. Para evitar los errores experimentales, es necesario controlar todo que pueda interferir en la expresión del tratamiento. Principalmente en climas con variaciones estacionales, es necesario que se trabaje con grupos de racimos de igual edad (emitidos en la misma semana, por ejemplo). Las dimensiones del pseudotallo, como el perímetro, diámetro, sección transversal y volumen calculado son, generalmente, relacionadas con el peso del racimo, como en el trabajo de kumar y pandey (2010), usando correlaciones con el área de sección del pseudotallo, en la emisión floral, con el peso del racimo cosechado. Wairegi et al. (2009) usó datos de volumen calculado del pseudotallo, número de manos y número de dedos para previsión del peso de los racimos. Los tratamientos deben estar distribuidos en grupos con el mismo número de manos. Así, Vargas y Blanco (2000) trabajaron con 416 racimos de banano valery, con 8, 9 y 10 manos, con cinco fechas de instalación, estudiando dos intensidades de desmane, distribuidos por característica y fechas en los tratamientos, siendo cada racimo una repetición.

Lichtemberg et al. (1991) trabajó solamente con 6 repeticiones, de racimos emitidos en la misma semana. Cada repetición fue compuesta por un grupo de cinco racimos por tratamiento, con el mismo número de manos. Así, un racimo no cosechado no acarretó en pérdida de la repetición. En el primer experimento, los grupos fueran de 9, 10, 11, 12, 12 y 13 manos. En el segundo experimento los grupos fueran de 7, 8, 8, 9, 9 y 10 manos. Lichtemberg et al. (2012), realizó un experimento de embolse, con dos tratamientos e 20 repeticiones. Antes de la instalación, a cada semana desde mes de marzo, tomó el perímetro de todas las plantas con inflorescencia pendiente y cerrada, a 30 y 100 centímetros del suelo. Las plantas fueran identificadas en el campo. A cada semana, las plantas seleccionadas y uniformes eran divididas en cinco pares de grupos de cinco plantas cada uno, con promedio aproximado de las dos medidas. Así, se llegó a un total de 200 plantas, de 40 grupos uniformes (cuatro semanas y cinco clases de perímetro promedio). Los tratamientos fueran sorteados dentro de cada par de grupo. Por fin, Lichtemberg et al. (1998) trabajó con siete tratamientos de embolse, con 26 repeticiones, correspondientes a 26 semanas desde año de 1997, separadas por una semana sin instalación. A cada semana los tratamientos eran sorteados por grupos de plantas seleccionadas, con racimo abierto, con número de manos e de frutos próximos. Antes se hacía el conteo de manos y de frutos de las líneas externas del racimo, para posterior agrupamiento. En todos estos estudios, el coeficiente de variación fue muy bajo, permitiendo buen análisis de los resultados.

CONCLUSIONES

Así, en ensayos de técnicas de manejo del racimo, se recomienda:

Trabajar con alto número de repeticiones y alto número de racimos por repetición. No usar grande número de tratamientos, especialmente en forma de factoriales. Trabajar con grupos de plantas uniformes perímetro, diámetro o sección del pseudotallo. Trabajar con grupos de racimos uniformes, en número de manos, dedos y fecha de emisión. Trabajar con condiciones uniformes de cultivares y manejo de la plantación.

REFERENCIAS

1. Alves, j.a.; dantas, j.l.l.; soares filho, w.s.; silva, s.o.; oliveira, m.a.; souza, l.s.; cintra, f.l.d.; borges, A.l.; oliveira, a.m.g.; oliveira, s.l.; fancelli, m.; cordeiro, z.j.m.; souza, j.s. 1995. Banana para exportação: aspectos técnicos de produção. Brasília: frupex-spi. 106p.
2. Baghdadi, h.; minessey, f.; keleg, f. 1959. Banana yield in relation to distances and depts, time of maturity and flower bud removal. Alexandria journal agric. Research, 7 (1): 63-75.
3. Belalcázar carbajal, s.; salazar m., c.a.; cayón, d.g.; lozada, z.j.e.; castillo, l.e.; valencia, m.j.a. 1991. Manejo de plantaciones. In: el cultivo del plátano en el trópico. Colombia: inibap/ica/cdct/ciid. P. 149-242.
4. Berril, f.w. 1956. Bunch covers for bananas. Queensland agricultural journal, 82 (8) 435-440.
5. Boncato, a.a. 1969. Effects of reducing the number of hands in a bunch of lacatan banana. Journal of plant industry, 32 (3/4): 243-251.
6. Calvo, a.v. 2010. Efecto del desmane y de la modalidad de cosecha sobre las características y producción de racimos de plátano tipo francés fhia-21. Tropicicultura, 28 (1): 16-23.
7. Cayón, d.g.; morales, h.; giraldo g., g.a. 2003. Efecto del color de las bolsas de polietileno sobre el desarrollo de los frutos y la concentración de carbohidratos en el clon del plátano dominico-harton (*musa aab*). Vitae, revista de la facultad de química farmacéutica, universidad de antioquia, 10 (1): 9-17.
8. Costa, j.n.m.; scarpate filho, j.a.; kluge, r.a. 2002. Efeito do ensacamento de cachos de banana nanicão na produção e no intervalo entre inflorescência e colheita. Pesquisa agropecuária brasileira, 37 (11) 1575-1580.
9. Daniells, j.w.; o'farrel, p.j.; mulder, j.c.; campbell, e.j. 1987. Effect of bunch covering and bunch trimming on bananas in north queensland. Queensland journal of agricultural and animal sciences, 44(2): 101-105.
10. Delgado, e.; gonzalez, o; moreno, n.; romero, d. 2003. Efecto del desmane sobre el peso del racimo y las dimensiones del fruto del híbrido de plátano fhia-21 (*musa aaab*). *Bioagro*, 15 (1): 17-22.
11. Donato, s.l.r.; santos, m.r.; arantes, a.m.; ramos, a.v. 2020. 'prata-anã' banana under irrigation levels, planting densities and bunch trimming. Revista brasileira de fruticultura, jaboticabal, sp, 42(5): e-44.

12. Hasan, a.; sarkar, s.; majumder, d. 2006. Effect of dehanding on fruit and bunch characters and shooting-harvest interval of banana. In: reunião de acorbat internacional, 27. Memórias... joinville, brasil. P. 532-535.
13. Johns, g. 1996. Effects of bunch trimming and double bunch covering on yield of bananas during winter in new south wales. *Australian journal of experimental agriculture*, 36: 229-235.
14. Kumar, d.; pandey, v. 2010. Relationship of trunk cross-sectional area with bunch weight, fruit quality and nutrient status in banana rasthali (pathkappoora-aab). *Indian journal of horticulture*, 67(1): 26-29.
15. Lichtemberg, l.a. 1996. Ensacamento do cacho de bananas no campo. *Informativo sbf. Sociedade brasileira de fruticultura*, 1(3): 8-11.
16. Lichtemberg, l.a.; zaffari, g. R. Hinz, r.h. 1991. Experimentos preliminares sobre poda da inflorescência masculina e poda de pencas em banana nanicao. *Revista brasileira de fruticultura, cruz das almas, ba*, 13 (2): 9-18.
17. Lichtemberg, l.a.; hinz, r.h. malburg, j.l.; schitt, a.t.; lichtemberg, p.s.f.; stucker, h. 1998. Efeito do ensacamento do cacho sobre componentes da produção e da qualidade de banana: in: congresso brasileiro de fruticultura, 15., poços de caldas, 1998. Resumos... Sbf, poços de caldas, p. 136.
18. Lichtemberg, l.a.; milanez, j.m.; zambonim, f. 2012. Efeito do tipo de bolsa de proteção sobre características de cachos de banana, emitidos no final de verão, em itajaí, sc. In: congresso brasileiro de fruticultura, 22., bento gonçalves, rs. Resumos... Sbf, bento gonçalves, 4 p.
19. Lichtemberg, l. A.; seidel, i.; lichtemberg, l.h.a.k. 2015. Variação do período floração-colheita da bananeira grande naine, em função da data de floração, nas condições subtropicais de itajaí – sc. In: congreso latinoamericano y del caribe de plátanos y bananos, 3. Resúmenes... Corupá, sc, brasil.
20. Meyer, j.p. 1975. Influence de l'ablation de mains sur le rendement en poids des regimes de bananes par catégories de conditionnement aux antilles. *Fruits*, 30 (11): 663-668.
21. Moreira, r.s. 1987. *Banana: teoria e prática de cultivo*. Campinas: fundação cargill. 335 p
22. Negreiros, r.j.z; maro, l.a.c. 2015. Características vegetativas de bananeiras do subgrupo cavendish cultivadas em condições subtropicais. In: congreso latinoamericano y del caribe de plátanos y bananos, 3. Resúmenes... Corupá, sc, brasil.
23. Pereira, l.v.; alves, e.j.; lucchini, f. 1981. Influência da época de corte da inflorescência masculina da bananeira 'terra' sobre a uniformidade dos frutos. *Cruz das almas: embrapa-cnpmf*, 16p. (boletim de pesquisa, 3).
24. Rodrigues, m.g.v.; soto, r.f.; menegucci, j.l.p. 2001. Influência do ensacamento do cacho na produção de frutos da bananeira prata anã irrigada, na região norte de minas gerais. *Revista brasileira de fruticultura, jaboticabal, sp*, 23 (3): 559-562.
25. Rodrigues, m.g.v.; soto, r.f.; menegucci, j.l.p. 2002. Efeito da poda da última penca do cacho da bananeira prata anã irrigada, na produção de frutos no norte de minas gerais. *Revista brasileira de fruticultura, jaboticabal, sp*, 24 (1): 108-110.
26. Rodriguez, s.b. 1974. Influencia del "desperillado" sobre la maduración y peso del racimo en tres cultivares de plátano en tecomán. *Col. Agricultura técnica en méxico*, 111 (8): 295-301.
27. Rodriguez, g.; Muñoz, n.; Márquez, j. 2006. Poda de manos en el clon fhia-21 (musa aab) y su efecto sobre las dimensiones del fruto y aspectos de calidad. In: reunión de acorbat internacional, 27. Memórias... joinville, brasil. P. 536-544.
28. Rodriguez, j.a.; irizarry, h.; rivera, e. 1987. Efecto de la poda de manos em el rendimiento y calidad de las frutas del plátano. In: reunión de acorbat, 8, santa marta, colombia, resumen... n. P.

29. Sampaio, v.r.; simão, s. 1970a. Banana – ensacamento dos cachos logo após ao florescimento. Revista de agricultura, piracicaba, 45 (2/3): 75-77.
30. Sampaio, v.r.; simão, s. 1970b. Banana - remoção da inflorescência masculina em cachos novos. Revista de agricultura, piracicaba, 45 (2/3): 93-95.
31. Silva filho, l.p.; moreira, a. 2005. Ensacamento de cachos na produção, maturação e qualidade dos frutos de bananeiras cultivadas no estado do Amazonas. Acta amazônica, 35(4): 407-412.
32. Soto ballesteros, m. 1992. Bananos: cultivo y comercialización. 2 ed. San José, Costa Rica: litografía y imprenta lil. 674 p.
33. Souto, r.f.; rodrigues, m.g.v.; menegucci, j.l.p. 2001. Efeito da retirada da inflorescência masculina na precocidade da colheita e produção da bananeira prata anã sob irrigação, na região norte de Minas Gerais. Revista brasileira de fruticultura, Jaboticabal, SP, 23 (2): 257-260.
34. Souza, m.m.; andersen, o; manica, i. 2001. Influência do corte da parte terminal da ráquis do cacho da bananeira cv. 'prata' (Musa sp.) Sobre a produção total, número de pencas por cacho, comprimento e diâmetro do fruto. Ceres, Viçosa, 18: 315-325.
35. Trupin, f. 1959. Coupe du bourgeon male et inflorescence du bananier gross michel. Fruits, 14 (9): 389-90.
36. Vargas, a.; blanco, f. 2000. Consideraciones metodológicas para la evaluación del desmane en banano (Musa AAA cv. Valery). Infomusa, 9 (2): 19-21.
37. Vargas, a.; valle, h; gonzález, m. 2010. Efecto del color y de la densidad del polietileno de fundas para cubrir el racimo sobre dimensiones, presentación y calidad poscosecha de frutos de banano y plátano. Agronomía costarricense, 34 (2): 269-285.
38. Vargas-calvo, a.; valle-ruiz, h. 2011. Efecto de dos tipos de fundas sobre el fruto de banano (Musa AAA). Agronomía mesoamericana, 22 (1): 81-89.
39. Wairegi, l.w.i.; van hasten, p.j.a.; tenywa, m. Bekunda, m. 2009. Quantifying bunch weights of the east African highland bananas (Musa spp. AAA) using non-destructive field observations. Scientia horticulturae, 121 (2009): 63-72.

Determinación del tiempo térmico para el cultivo de banano en la zona bananera de Urabá, Colombia

Julián Andrés Valencia-Arbeláez^{1*}; Diego Alejandro Londoño-Puerta¹; Sebastián-Zapata Henao¹

¹Centro de Investigaciones del Banano–Cenibanano.

***Autor de**

Correspondencia:

Julián Andrés Valencia-Arbeláez
invagroclimatologia@augur
a.com.co

Contribución:

Científica

Sección:

Cambio Climático y
Agrometeorología

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Valencia-Arbeláez JA,
Londoño-Puerta DA y
Sebastián-Zapata H.
2024. Determinación del
tiempo térmico para el
cultivo de banano en la
zona bananera de Urabá,
Colombia. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 20
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2420](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2420)

RESUMEN

La temperatura controla el ritmo de desarrollo de muchos organismos entre ellos el banano, donde la media general óptimo entre el crecimiento y el desarrollo es de aproximadamente 27 °C. Para la determinación de tiempo térmico se emplearon bases climatológicas de 7 estaciones provenientes de IDEAM, Colombia, durante el período 2000 a 2021 y se realizó una selección de 13 yemas de segundo pentágono de plantas de banano, a las cuales se les hizo seguimiento de crecimiento y desarrollo, y cada etapa se relacionó con el tiempo térmico acumulado, determinando un valor TT de 5282 °GD, presentando este enfoque como una herramienta sistemas de apoyo en la toma de decisiones.

Palabras clave: Grados-días de desarrollo, agroclimatología, fenología, ENOS, clima.

ABSTRACT

Temperature controls the rate of development of many organisms, among them banana, where the general average optimum between growth and development is approximately 27°C. For the determination of thermal time, climatological bases of 7 stations from IDEAM, Colombia, during the period 2000 to 2021 were used and a selection of 13 second pentagon buds of banana plants was made, which were monitored for growth and development, and each stage was related to the accumulated thermal time, determining a TT value of 5282 °GD, presenting this approach as a support systems tool for decision making.

Keywords: thermal weather, agroclimatology, phenology, weather.



INTRODUCCIÓN

La temperatura controla el ritmo de desarrollo de muchos organismos. Las plantas y los animales invertebrados, necesitan una determinada cantidad de calor para desarrollar su ciclo vital. Esta medida de calor acumulado se conoce como tiempo fisiológico. En teoría, el tiempo fisiológico proporciona una referencia común para el desarrollo de los organismos. La cantidad de calor necesaria para completar el desarrollo de un organismo determinado no varía: la combinación de temperatura (entre umbrales) y tiempo será siempre la misma. El tiempo fisiológico suele expresarse y aproximarse en unidades denominadas grados-día ($^{\circ}\text{D}$). (Baskerville y Emin, 1969; Zalom et al., 1983; Wilson y Barnett, 1983).

En plantas de banano, la tasa de crecimiento y desarrollo está determinada por la temperatura, por ejemplo, la emisión de nuevas hojas se detiene a 16°C en los subtrópicos; el crecimiento (asimilación de materia seca) se detiene a 14°C ; la temperatura óptima para el crecimiento y para la iniciación de la flor es 22°C ; y la tasa óptima de emergencia de la hoja es de aproximadamente 31°C (Robinson y Galán Saúco, 2010; Turner y Lahav, 1983). La temperatura media general para un equilibrio óptimo entre el crecimiento (asimilación) y el desarrollo (tasa de emisión foliar) es de aproximadamente 27°C (Robinson y Galán Saúco, 2010).

El concepto de grados días, es un buen referente para para conocer la duración de las etapas de desarrollo del cultivo (Lassoudière, 2007) y debe tenerse muy presente principalmente para el periodo entre floración y el momento óptimo de cosecha del racimo para garantizar una adecuada vida verde del banano (Sánchez Torres y Mira Castillo, 2013). Investigaciones de tiempo fisiológico desarrollados por Robinson (1992), en Sudáfrica, mostraron que plantas de banano “Willians” requieren un promedio de 1000 grados día ($^{\circ}\text{D}$), con temperatura base de 14°C , para desarrollar un racimo a partir de la emergencia de la inflorescencia hasta la madurez de cosecha (rango 950–1050). En objetivo en este trabajo fue desarrollar el cálculo y determinación del tiempo térmico (TT) en banano como una herramienta de precisión fenológica que alimente los sistemas de apoyo en la toma de decisiones en el sector agrícola, perfilando el cultivo en la generación de agricultura 4.0.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las bases de datos climatológicos fueron provenientes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), de 7 estaciones agroclimáticas representativas de la zona bananera en la región Caribe según información de Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) cuyo periodo fue de 2000 a 2021 (Cuadro 1). La información recolectada fue temperatura máxima y mínima diarias.

Cuadro 1. Información general de siete estaciones climáticas empleadas en el estudio.

Núm.	Long.	Lat.	ASNМ	COD	ESTACIÓN	MPIO	DPTO
1	-76.22	9.07	15	12045020	Cristo Rey	Puerto escondido	Córdoba
2	-76.61	7.54	58	12015090	La Palmera	Chigorodó	Antioquia
3	-75.58	8.40	90	25025190	Planeta Rica San	Planeta Rica San	Córdoba
4	-75.95	9.37	22	13085030	Bernardo del Viento	Bernardo del Viento	Córdoba
5	-76.67	7.77	39	1201506	Tulenapa	Carepa	Antioquia
6	-75.80	8.84	20	13075030	Turipaná	Cereté	Córdoba
7	-76.65	7.83	43	12015020	Uniban	Apartado	Antioquia

Para la homogenización de la información de temperatura se empleó una serie de datos diarios comprendida entre 2000 – 2021, proveniente de la red meteorológica operada por IDEAM. La información fue ordenada, en un inicio, filtrando únicamente los datos de temperatura (mínima, media y máxima), para luego generar una base de datos a escala diaria de cada estación, dejando vacíos en donde no existió toma de datos.

Para la homogenización de datos faltantes se empleó el paquete Climatol diseñado bajo la plataforma R y disponible en (<https://CRAN.R-project.org/package=climatol>). Climatol calcula primero estos parámetros con los datos disponibles en cada serie, rellena los datos ausentes usando estas medias y desviaciones típicas provisionales, y vuelve a calcularlas con las series rellenas. Después se vuelven a calcular los datos inicialmente ausentes usando los nuevos parámetros, lo que dará lugar a nuevas medias y desviaciones típicas, repitiendo el proceso hasta que ninguna media cambia al redondearla con la precisión inicial de los datos. Una vez estabilizadas las medias, se normalizan todos los datos y se procede a estimarlos (tanto si existen o no, en todas las series) mediante la expresión:

$$\hat{y} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} w_j x_j}{\sum_{j=1}^{j=n} w_j}$$

En la que \hat{y} es un dato estimado mediante los correspondientes n datos x_j más próximos disponibles en paso temporal, y w_j es el peso asignado. Estadísticamente, $\hat{y}_i = x_i$ es un modelo de regresión lineal denominado Eje Mayor Reducido o Regresión Ortogonal, en el que la recta se ajusta minimizando las distancias de los puntos medidas en dirección perpendicular a la misma (regresión modelo II) en lugar de en dirección vertical (regresión modelo I) como se hace generalmente, cuya formulación (con series normalizadas) es $\hat{y}_i = r \cdot x_i$, siendo r el coeficiente de correlación entre las series x , y .

Para el cálculo del tiempo térmico se partió de la premisa de que el método del corte vertical, citado por Roltsch et al. (1999), es la mejor alternativa para determinar la cantidad de temperatura disponible para el desarrollo de un organismo en cualquier localidad. Conceptualmente, al utilizar esta metodología, se asume que la tasa de crecimiento y desarrollo de cualquier ectotermo se detiene o cesa cuando la temperatura del aire está por debajo del umbral mínimo o por encima del umbral máximo definido para la especie, contrario a lo que sucede cuando se utiliza el corte horizontal, método en el cual el crecimiento y desarrollo continua constante a temperaturas que superan el umbral máximo, es decir, que el área por encima de ese umbral se resta de la zona por encima del umbral mínimo.

Para la aplicación del método, se realizó una selección de plantas y seguimiento de las mismas, el 16 de julio de 2021, en el Campo Experimental Ramírez Jaramillo Sossa, ubicado en el municipio de Carepa, Antioquia, Colombia. Se seleccionaron 13 plantas en estado de yemas, de segundo pentágono, con una altura entre 0 a 30 cm, a las cuales se les hizo seguimiento de crecimiento y desarrollo, se identificó los estados fenológicos F10 (primera hoja con 10 cm de ancho), diferenciación (emisión de hoja 12), floración (Emisión de inflorescencia) y cosecha; cada etapa se relacionó con el tiempo térmico acumulado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa la disponibilidad de datos en todas las estaciones para el período comprendido entre 2000 – 2021.

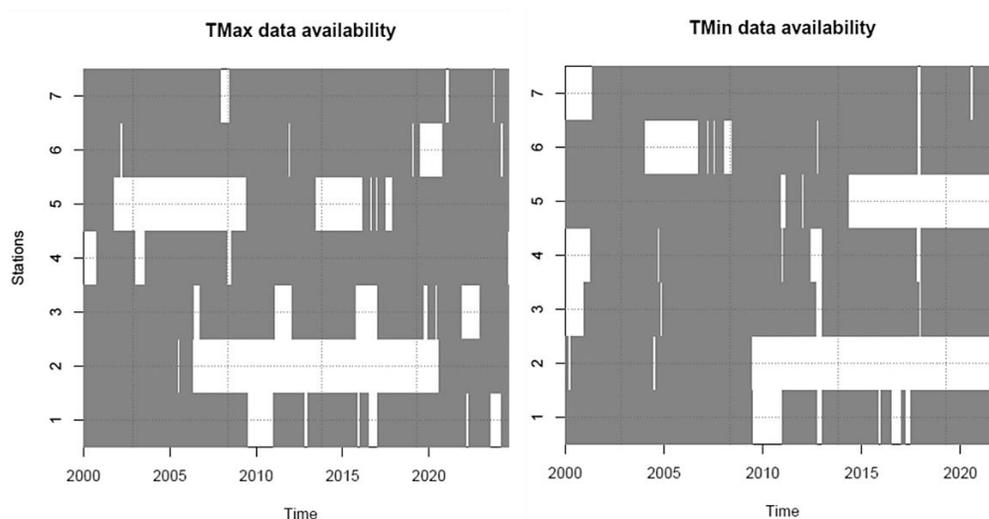


Figura 1. Disponibilidad de datos por estaciones seleccionadas operadas por IDEAM en el periodo 2000 - 2021 en la zona Caribe Colombiana.

Las correlaciones entre las series y su clasificación en grupos con variabilidad similar tienden a variar según la distancia, entre más alejadas, son más bajas y viceversa (Figura 2). Cuanto más altas sean las correlaciones, mayor será la fiabilidad de la homogeneización y el relleno de datos ausentes. En particular, las correlaciones deben ser siempre positivas, al menos dentro de un rango de distancias razonables que garanticen un valor no muy alejado de las características climáticas de la zona en estudio (Figura 3).

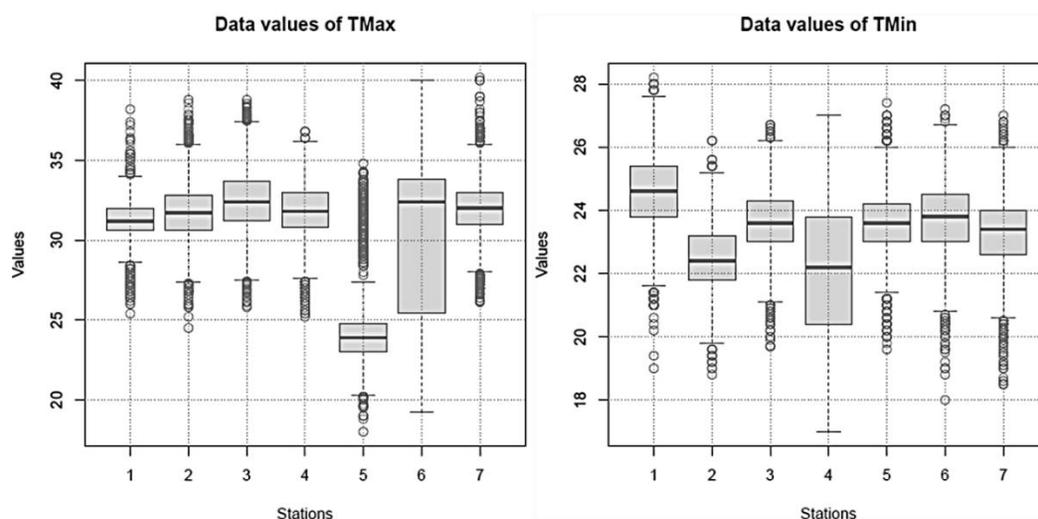


Figura 1. Diagramas de caja de los datos en cada estación seleccionada y operadas por IDEAM en el periodo 2000 - 2021 en la zona Caribe Colombiana.

Correlogram of the daily series

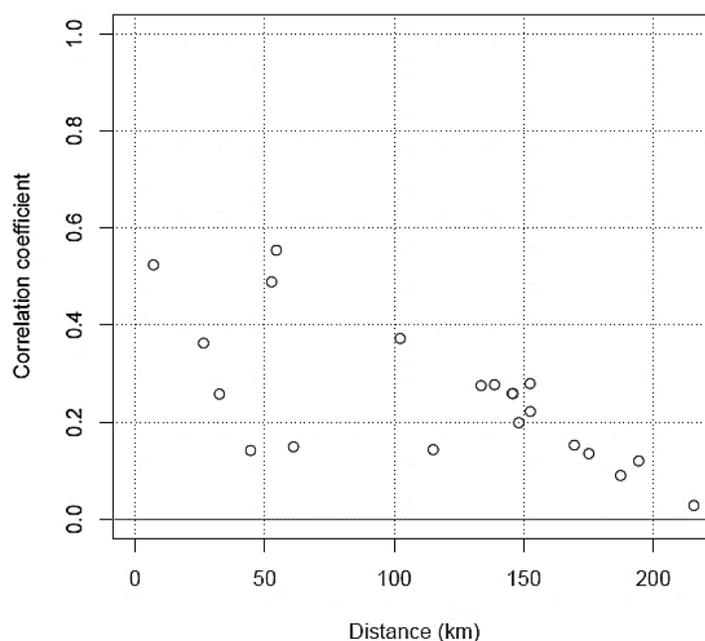


Figura 2. Correlograma de las series de estaciones seleccionada y operadas por IDEAM en el periodo 2000 - 2021 en la zona Caribe Colombiana. Nótese que, a mayor distancia, menor correlación entre los valores

La información resultado de temperatura por estación como resultado de la homogenización mediante Climatol (Figura 4), permite ser empleada como una herramienta previa al análisis de tiempo térmico para el cultivo de banano en la zona de Urabá, eliminando los posibles outliers que se presenten al momento de coleccionar la información, principalmente por errores de observación, al ser estaciones de tipo convencional. Cabe mencionar que la zona bananera de Urabá, y el caribe colombiano, presentan una condición heterogénea de temperatura a lo largo del año, la cual, puede variar entre 1 y 1.5 por efecto de monomodalidad causada por la ZCIT y el paso de huracanes en el periodo junio – noviembre.

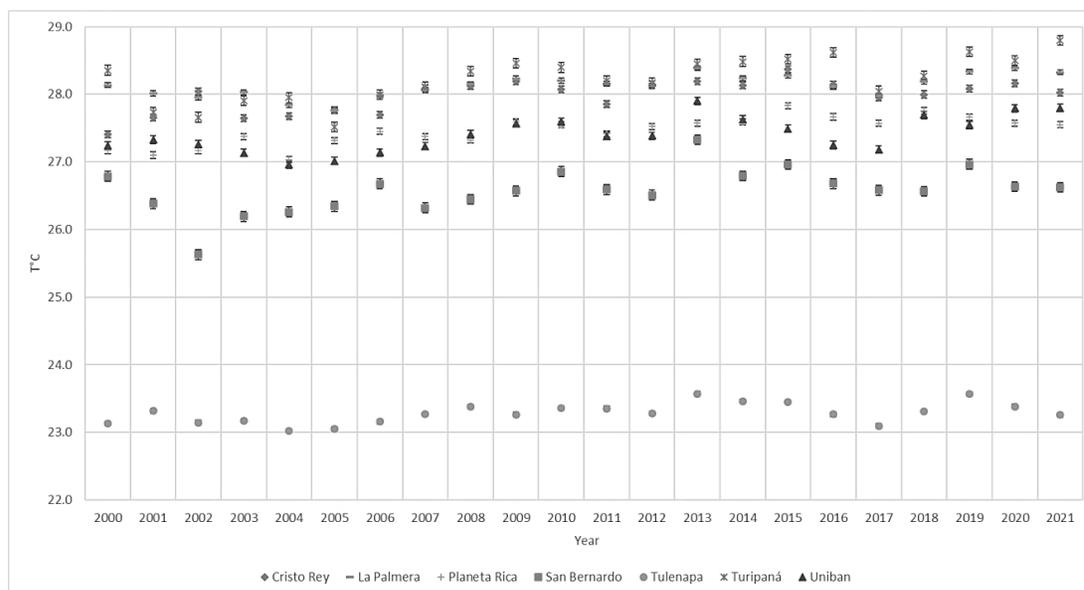


Figura 4. Comportamiento anual de la Temperatura en siete estaciones climáticas en el Caribe Colombiano durante el período 2000 - 2021 como resultado de homogenización.

Durante el período comprendido entre 2000 y 2021, el fenómeno climático de El Niño, caracterizado por condiciones neutras y cálidas en el océano Pacífico tropical, tuvo un impacto significativo en el cultivo de banano. La Figura 5 ilustra cómo esta influencia climática afectó las condiciones térmicas. Las aguas cálidas del Pacífico tropical generaron un aumento en la temperatura promedio, lo que favoreció el desarrollo del banano. Como resultado, la mayoría de los meses registraron una tendencia positiva en las temperaturas, lo que impulsó un ambiente propicio para el crecimiento de la fruta.

En Costa Rica, Mora y Guzmán (2007) estimaron que en 12 semanas los grados día ($^{\circ}\text{D}$) oscilan entre 919 – 1.089 (promedio 1.016) según la época del año y que este factor influye notablemente en el peso de racimo, ‘ratio’ y racimos/ha. González *et al.* (2010) determinaron que se requieren entre 103 y 119 grados día ($^{\circ}\text{D}$) para emitir una hoja, 2.372 grados día ($^{\circ}\text{D}$) para floración, 1.026 para llegar al grado óptimo de corte y 1.100 para alcanzar el máximo peso de fruta. En este trabajo se encontraron resultados contrastantes con estos reportes. Por ejemplo, nosotros obtuvimos 3065 $^{\circ}\text{D}$ de estado F10 a floración, 693 $^{\circ}\text{D}$ más que lo reportado por González *et al.* (2010), esto puede estar relacionado a otros factores locativos que deben ser evaluados en futuras investigaciones, por el momento se puede manejar como un dato local; para cosecha nosotros obtuvimos 922 $^{\circ}\text{D}$, 104 $^{\circ}\text{D}$ menos que lo reportado por este mismo autor, este

último está ligado a que en Urabá la cosecha se hace por edad cronológica, a 11 semanas, enfocado a requerimientos de mercado Europeo, a diferencia de Costa Rica, que pueden cosechar con más semanas, ya que su enfoque, por cercanía, es el mercado Americano.

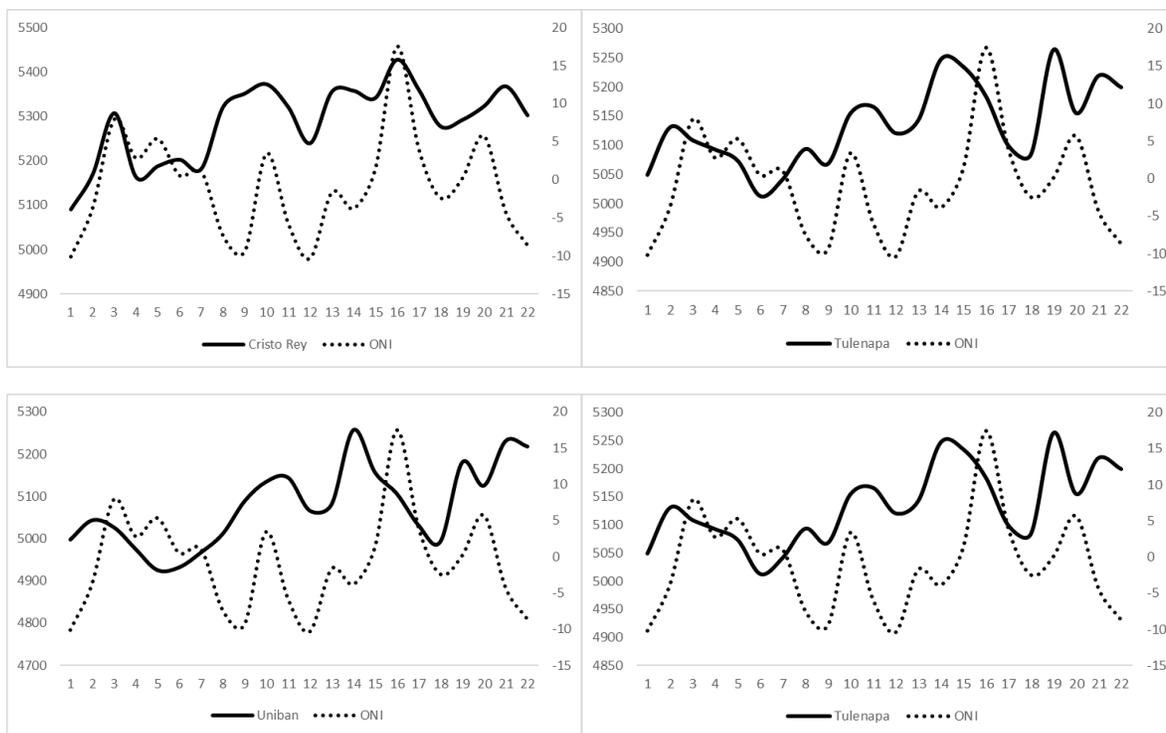


Figura 5. Relación de ION (Índice Oceánico del Niño) con las unidades calor acumuladas para las zonas de estudio durante el periodo 2000 – 2021.

En el Cuadro 2 y Figura 6 se muestran la acumulación de tiempo térmico para cada estado fenológico de la planta de banano, obtenido en el seguimiento a plantas en campo.

Cuadro 2. Grados día acumulados promedio para cada etapa fenológica del cultivo de banano.

Etapa Fenológica	GD Acumulado	Semana
Yema	0	1
F10	1294,17	14
Diferenciación	2801,84	29
Floración	4359,19	44
Cosecha	5281,67	53

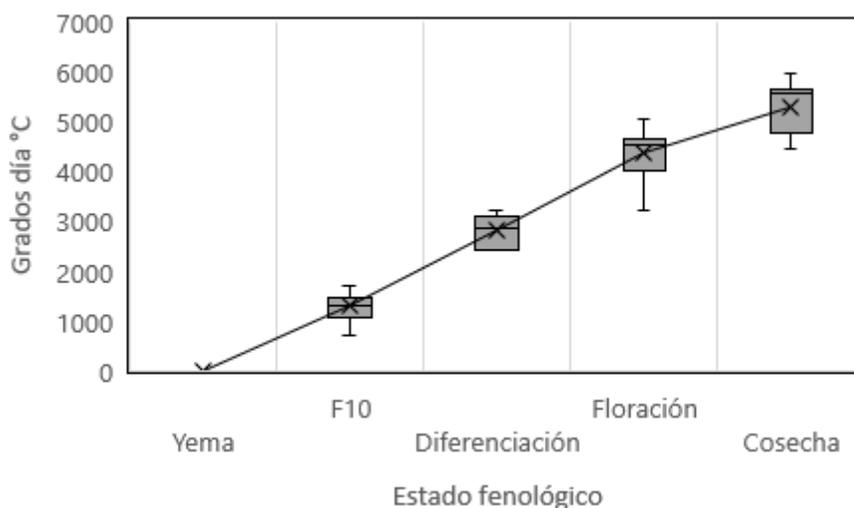


Figura 6. Boxplot de acumulación de grados día por estado fenológico de la plata de banano.

CONCLUSIONES

La relación entre la acumulación de tiempo térmico (TT) y las etapas fenológicas del cultivo del banano es fundamental en la agricultura contemporánea. Este enfoque se presenta como una herramienta esencial para los sistemas de apoyo en la toma de decisiones agrícolas, especialmente en un contexto de cambio climático. La acumulación de TT se refiere a la suma de temperaturas diarias por encima de un umbral específico, lo que indica el progreso del desarrollo de las plantas. Al relacionar esta variable con las etapas fenológicas del banano, como la floración y la maduración

de los frutos, podemos anticipar con mayor precisión cuándo ocurrirán estos eventos clave en el ciclo de cultivo.

El cambio climático ha alterado significativamente los patrones de temperatura y precipitación en muchas regiones, lo que a su vez ha impactado la duración y la frecuencia de las labores agrícolas. Al utilizar la acumulación de TT como indicador, los agricultores pueden adaptar sus prácticas de cultivo de manera más efectiva a las condiciones cambiantes. Por ejemplo, pueden ajustar el momento de la siembra, la aplicación de fertilizantes y la cosecha para optimizar la productividad y reducir los riesgos asociados con el cambio climático. Sin embargo, es posible mejorar el concepto TT integrando fotoperiodo o precipitación. En banano, por su condición tropical y dependencia de agua, el factor lluvia podría ser requerido para una óptima estimación de eventos fisiológicos.

No obstante, la relación entre la acumulación de TT y las etapas fenológicas del banano puede ser una herramienta valiosa para la toma de decisiones agrícolas, permitiendo a los agricultores enfrentar los desafíos del cambio climático y mejorar la gestión de sus cultivos de manera más eficiente y sostenible. Esta sinergia entre la ciencia y la agricultura contribuye al desarrollo sostenible y al aseguramiento de la producción de banano en un escenario de cambio climático.

REFERENCIAS

1. Baskerville, G. L., & Emin, P. (1969). Rapid Estimation of Heat Accumulation from Maximum and Minimum Temperatures. *Ecology*, 50(3), 514-517. <https://doi.org/10.2307/1933912>
2. Lassoudière, A. (2007). *Le bananier et sa culture*. Éd. Quae.
3. Mora, M., & Guzmán, M. (2007). Relación de algunas variables de rendimiento con las unidades de calor de una finca de banano (Musa AAA, subgrupo Cavendish) del Caribe de Costa Rica. *CORBANA*, 33(60), 88-90.
4. Robinson, J. C., & Galán Saúco, V. (2010). *Bananas and plantains* (2nd ed). Du Roi Laboratory : Gobierno de Canarias, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias : CABI.
5. Roltsch, W., Zalom, F., Strawn, A., Strand, J., & Pitcairn, M. (1999). Evaluation of several degree-day estimation methods in California climates. *International Journal of Biometeorology*, 42, 169-176. <https://doi.org/10.1007/s004840050101>
6. Sánchez Torres, J. D., & Mira Castillo, J. J. (2013). *Principios para la nutrición del cultivo de banano*. Asociación de Bananeros de Colombia: Centro de Investigaciones del Banano.
7. Turner, D. W., & Lahav, E. (1983). The Growth of Banana Plants in Relation to Temperature. *Functional Plant Biology*, 10(1), 43-53. <https://doi.org/10.1071/pp9830043>

8. Wilson, L., & Barnett, W. (1983). Degree-days: An aid in crop and pest management. *California Agriculture*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Degree-days%3A-An-aid-in-crop-and-pest-management-Wilson-Barnett/3d8a65401db40c0a2db4371a83992d7e85a1cc25>
9. Zalom, F., Goodell, P., Wilson, L., Barnett, W., & Bentley, W. (1983). Degree-Days, the Calculation and Use of Heat Units in Pest Management: University of California Division of Agriculture and Natural Resources Leaflet 21373. *Univ. of California, Berkeley*.

Aplicación de marcadores ISSR en la determinación de la similitud genética de *Pseudocercospora fijiensis*

Gilberto Manzo-Sánchez^{1*}; Carlos Luis Leopardi-Verde¹; Marco Tulio Buenrostro-Nava¹; Mario Orozco-Santos²; Blondy Canto-Canche³; Ignacio Islas-Flores⁴; Luciano Martínez-Bolaños⁵

¹Universidad de Colima, Tecomán, Colima, México. ²Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México. ³Unidad de Biotecnología, ⁴Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México. ⁵Universidad Autónoma Chapingo, Tabasco, México.

*Autor de

Correspondencia:

Gilberto Manzo-Sánchez
gmanzo@ucol.mx

Contribución:

Científica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

06 Abril, 2024

Cita:

Manzo-Sánchez G,
Leopardi-Verde CL,
Buenrostro-Nava MT,
Orozco-Santos M, Canto-
Canche B, Islas-Flores I y
Martínez-Bolaños L. 2024.
Aplicación de marcadores
ISSR en la determinación
de la similitud genética de
Pseudocercospora fijiensis.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
21
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2421](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2421)

RESUMEN

Conocer la diversidad y similitud genética de *Pseudocercospora fijiensis* nos permite estimar el potencial de evolución de las poblaciones del patógeno dentro de diferentes agroecosistemas. En el presente estudio se analizaron, mediante marcadores ISSR, 74 aislamientos de *P. fijiensis* provenientes de cuatro estados de la república mexicana: Colima, Michoacán, Tabasco y Chiapas. Los resultados muestran 25 alelos polimórficos presentes en todos los aislamientos. En el análisis de similitud genética, el dendrograma sugiere que existen cuatro grupos (I-IV), cada uno conformado por aislados con el mismo origen geográfico. Esta información demuestra la utilidad de los marcadores ISSR para determinar la similitud genética de *P. fijiensis* de México, basada principalmente por su origen geográfico.

Palabras clave: Sigatoka negra, plátano y banano, marcadores de ADN, fitosanidad.

ABSTRACT

Understanding the similarity and genetic diversity of *Pseudocercospora fijiensis* allows us to assess the evolutionary potential of the pathogen in different agroecosystems. In this study, we analyzed 74 isolates of *P. fijiensis* collected from four Mexican states: Colima, Michoacán, Tabasco, and Chiapas, using ISSR markers. The results revealed the presence of 25 polymorphic alleles across all isolates. Genetic similarity analysis suggests the existence of four distinct groups (I-IV), with isolates within each group sharing the same geographical origin. These findings highlight the utility of ISSR markers in assessing the genetic similarity of *P. fijiensis* in Mexico, primarily based on its geographic distribution.

Keywords: black Sigatoka, banana and plantain, DNA markers, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la estructura genética de poblaciones es importante para entender la biología de la población de patógenos (McDonald, 1997). Dicha información puede ser usada para inferir el impacto de las diferentes fuerzas evolutivas que pueden inducir cambios en la biología de las poblaciones de los patógenos (p. ej. la aplicación de fungicidas) y con esto estimar el potencial de evolución dentro del agroecosistema (Leung et al., 1993; McDonald, 1997), por ello la información generada puede contribuir a una mejor comprensión del patosistema y por consiguiente coadyuvar al diseño de nuevas estrategias de manejo.

Un estudio entre diferentes países demostró que las poblaciones de *Pseudocercospora fijiensis* mantienen un alto nivel de diversidad genética en el Sureste Asiático (centro de origen) y que la recombinación desempeña un papel importante en la evolución de este patógeno (Carlier et al., 1996). Otros estudios han descrito la diversidad genética entre países y continentes, así como también dentro de un país, entre diferentes localidades y cultivares (Carlier et al., 1996; Hayden et al., 2005; Manzo-Sánchez et al., 2019). Los marcadores ISSR tienen como ventaja su capacidad para evidenciar la variación genética, así como en su reproductibilidad (Lynch y Milligan, 1994). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la similitud genética de los aislados de *P. fijiensis* de distintas regiones productoras de plátano en México, utilizando marcadores ISSR.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aislamiento de *P. fijiensis*. El aislamiento del hongo se realizó en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad de Colima, de acuerdo con el método de descargas de ascosporas descrito por Stover (1976). La observación de las ascosporas se llevó a cabo con la ayuda de un microscopio estereoscópico (Leica). Una vez identificadas, individualmente se cultivaron en medio PDA para permitir su crecimiento por colonias. La incubación se realizó en oscuridad a 26 °C durante 21 días en cámara de crecimiento (Novatech).

Extracción de ADN. Colonias monospóricas fueron sembradas en medio líquido V8 para el crecimiento del micelio. La incubación se realizó en agitador orbital (Lab line) de tres a cinco días a 100 rpm y 27 °C. El micelio seco se molió en un mortero frío estéril con nitrógeno líquido, hasta que se obtuvo un polvo fino. Por cada aislado, 40 mg de polvo se colocaron en tubos Eppendorf estériles de 2.0 mL con 1.0 mL de

amortiguador de extracción (Tris-HCl pH 8.0 200 mM, NaCl 250 mM, EDTA 25 mM, PVP 1%, SDS 1%, CTAB 3% y 20 μ L de β -mercaptoetanol), se incubaron en baño maría durante 30 min con agitación por inversión constante, enseguida se adicionó 1 volumen de solución fenol-cloroformo-alcohol isoamílico (25:24:1) y se mezcló; enseguida se centrifugó a 12,000 rpm durante 20 min a 4 °C, y la fase acuosa obtenida, se transfirió a tubos Eppendorf estériles.

Marcadores ISSR. Para la PCR se utilizaron los oligonucleótidos universales ISSR810 (5' GAGAGAGAGAGAGAT 3') e ISSR809 (5' AGAGAGAGAGAGAGAGG 3') se preparó una mezcla para 80 reacciones (para 25 μ L de reacción final se colocó 200 μ M de DNTPs, 10X buffer de PCR, 2.5 mM de $MgCl_2$, 25 μ M del oligonucleótido, 2.5 U de *Taq* polimerasa y 9.65 de H_2O ddie). Una vez hecha la mezcla, se colocaron 24 μ L en tubos para PCR, luego se le agregó 100 ng de ADN de cada muestra. Después de la desnaturalización inicial se realizaron amplificaciones en un termociclador Perkin-Elmer 9700 programado para 30 s a 94°C, seguido de 45 ciclos de 30 s a 94 °C, 30 s a 50 °C y 3 min a 72 °C; con una extensión final de 7 min a 72 °C.

Los productos de amplificación fueron separados por electroforesis en gel de agarosa al 1.5 % teñido con 0,3 μ g/mL bromuro de etidio y un buffer 1 X TBE (EDTA 2 mM, Tris-HCl 0,1 M y ácido bórico 0,1 M [pH 8,0]). Se usó 1 kb Plus DNA Ladder (Invitrogen) para estimar el tamaño de los amplicones.

Análisis de datos. Este análisis inició con la observación directa de las bandas que se obtuvieron en el gel de agarosa, las cuales se numeraron de acuerdo con su peso molecular y se asumió, que tales bandas amplificadas en los diferentes aislados eran idénticas si presentaban el mismo peso molecular. Se realizó una matriz de datos binarios (asignándose un valor numérico de 1 para asumirse la presencia y 0 para la ausencia) y se estimó la similitud genética mediante el índice de similitud de Nei (1978) ($H = 1 - \sum X_i^2$, donde H= similitud genética de la población y $\sum X_i$ es la frecuencia de los diferentes alelos en un determinado locus). Luego, con dicha matriz se realizó un dendrograma mediante el método aritmético de grupos de pares no ponderados (UPGMA) del programa NTSYS-PC versión 2.0 (Rohlf, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio obtenido del número de alelos fue de 12.5, de un total de 25. El 100% de los alelos obtenidos fueron polimórficos, el peso de los amplicones varió de 750 a 2,500 pb. Por otro lado, de 80 muestras de ADN analizadas, solo seis no amplificaron, por lo que fueron descartadas para del análisis. Así, la información de las 74 muestras amplificadas se colocó en una matriz para después poder generar el dendrograma, el cual sugiere la existencia de cuatro grupos (Fig. 1). Este comportamiento es similar a lo que ocurrió con aislados de *Zymoseptoria tritici* (antes *Mycosphaerella graminicola*) analizados por Castillo et al. (2010), quien encontró que, de un total de 126 aislados, 43 no generaron ninguna amplificación con ninguno de los 10 oligonucleótidos utilizados.

El grupo I, conformado por 17 aislados del estado de Colima y un aislado de Michoacán, en donde los aislados arml3m1c1 y p9c3ceteco fueron los más similares ya que su coeficiente genético fue de aproximadamente 0.93. De acuerdo con los resultados obtenidos por Hayden *et al.* (2005) y Carlier et al. (1996), que realizaron un análisis de la variabilidad genética mediante marcadores de RFLP y SSR respectivamente, en ambos casos encontraron bajos niveles de diferenciación entre las poblaciones analizadas a pesar de su separación geográfica; esto sugiere un limitado flujo de genes y que la diseminación puede atribuirse principalmente al movimiento de material vegetal infectado durante el establecimiento de las plantaciones de banano y/o una muy restringida dispersión de ascosporas. Lo anterior podría explicar la baja variabilidad genética observada entre algunos aislados de diferentes estados de la república, al agruparse a pesar de provenir de sitios muy alejados geográficamente (en el grupo IV del dendrograma se agruparon 17 aislados de Tabasco, 9 de Michoacán, 3 de Chiapas y 1 de Colima, en el grupo 3 se agruparon 15 de Chiapas, 7 de Michoacán, y 1 de Colima).

El patrón anterior se repite también en el grupo II que estuvo integrado por dos aislados del estado de Michoacán (egp78 y p3c2coah) y un aislado del estado de Tabasco (RemeC4), este último es el más diferente ya que su coeficiente genético fue de aproximadamente 0.48 a diferencia de los otros dos aislados que tuvieron 0.68. Mientras que en el grupo III, se encontraron 15 aislados de Chiapas, 7 de Michoacán y uno de Colima, de estos, los aislados cr6d y coahsapo, fueron los más distintos, ya que su coeficiente de variación fue de aproximadamente 0.58. Por último, el grupo IV, estuvo conformado principalmente por aislados de Tabasco (17), Michoacán (nueve), Chiapas (tres) y Colima (uno), de los cuales jaguarcl y alegrec5 fueron los más parecidos ya que su coeficiente genético fue cercano a 0.95. También, en este grupo se

encontraron dos subgrupos, los aislados de rec1c3 y recv1c3, alegrec3 y recreoc3, al obtener un coeficiente de 0.95.

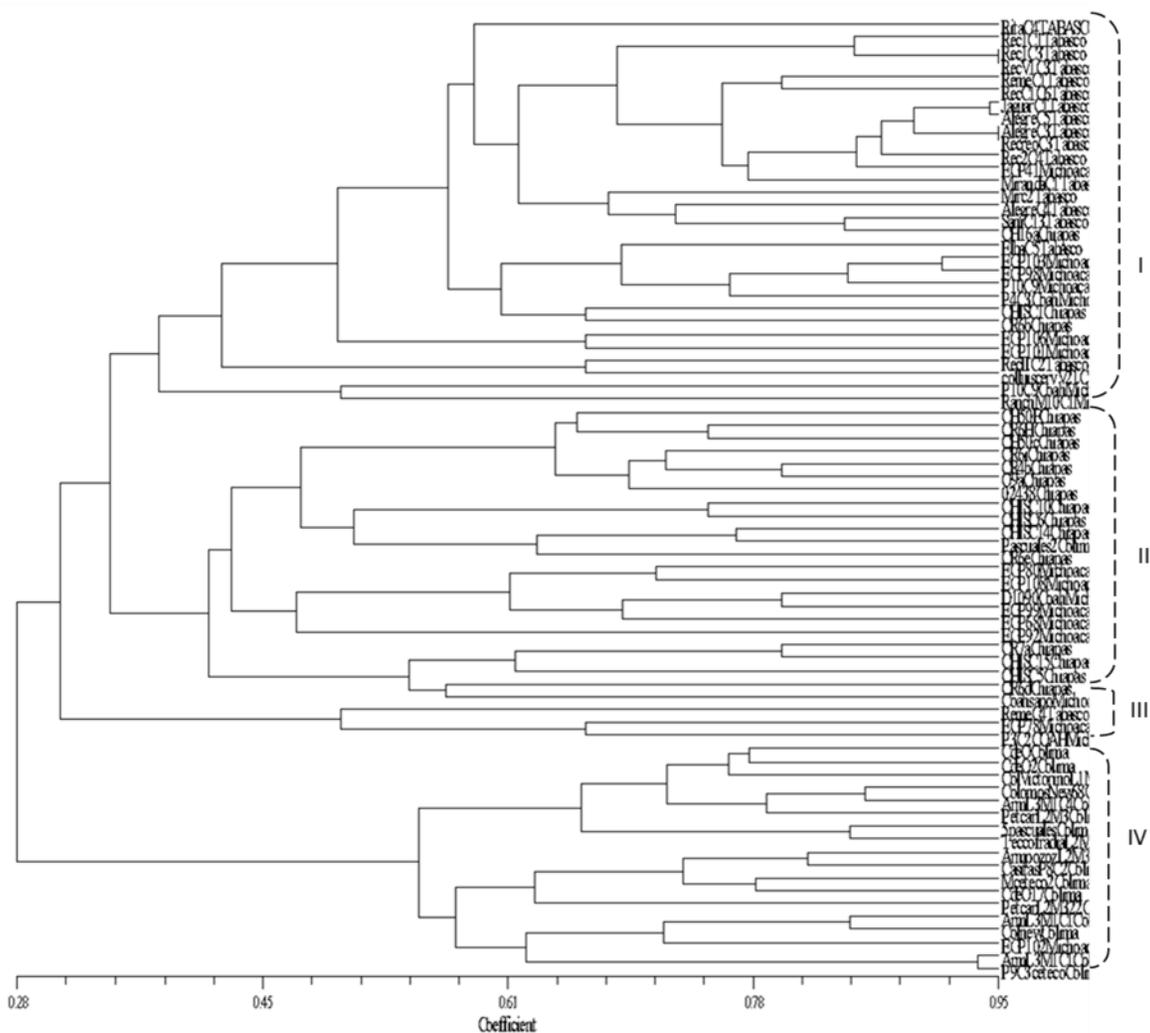


Figura 1. Análisis de similitud genética de 74 aislados de *P. fijiensis* provenientes de los estados de Colima, Michoacán, Tabasco y Chiapas. El análisis se basa en ISSR obtenidos a partir de dos oligonucleótidos para los locus ISSR809 e ISSR810.

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que las poblaciones analizadas podrían dividirse en cuatro grupos genéticos claros, la mayoría circunscrito a áreas geográficas definidas; pero, también sugieren que existe un flujo génico limitado entre poblaciones, quizás este podría estar asociado al intercambio de material infectado entre zonas de cultivo, más que a dispersión a larga distancia de ascosporas.

REFERENCIAS

1. Carlier J, Lebrun MH, Zapater MF, Dubois C, Mourichon X. 1996. Genetic structure of the global population of banana black leaf streak fungus *Mycosphaerella fijiensis*. *Molecular Ecology* 5: 499-510.
2. Castillo N, Cordo C, Simon MR. 2010. Molecular variability among isolates of *Mycosphaerella graminicola*, the causal agent of septoria tritici blotch, in Argentina. *Phytoparasitica* 38: 379-38.
3. Hayden HL, Carlier J, Aitken EAB. 2005. The genetic structure of Australian populations of *Mycosphaerella musicola* suggests restricted gene flow at the continental scale. *Phytopathology* 95: 489 - 498.
4. Leung H, Nelson RJ, Leach JE. 1993. Population structure of plant pathogenic fungi and bacteria. *Advances in Plant Pathology* 10:157-205.
5. Manzo-Sánchez G, Orozco-Santos M, Islas-Flores I, Martínez-Bolaños L, Guzmán-González S, Leopardi-Verde CL, Canto-Canché B, 2019. Genetic variability of *Pseudocercospora fijiensis*, the black sigatoka pathogen of banana (*Musa* spp.) in Mexico. *Plant Pathology* 68: 513-522.
6. McDonald BA. 1997. The population genetics of fungi: Tools and techniques. *Phytopathology* 87: 444-453.
7. Rohlf DJ. 1997. NTSYS-PC numerical taxonomy and multivariate analysis system. Version 2.0 Exeter Publ., Setauket. New York.
8. Stover RH. 1976. Distribution and cultural characteristics of the pathogens causing banana leaf spot. *Trop. Agric.* 53: 111-114.

New proposed of standard area diagram for assessing Black Sigatoka in bananas

Andrés Mauricio Pinzón-Núñez^{1*}, Diego Felipe Feria-Gómez¹, Gloria Marcela Pérez-Ochoa¹, Laura Arango-Palacio¹, Vicente Emilio Rey-Valenzuela¹, Sebastián Zapata-Henao¹

¹Banana Research Center CENIBANANO-AUGURA, Carepa-Antioquia 057850, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Andrés Mauricio Pinzón-
Núñez
fitpatologia@augura.com.c
o

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Pinzón-Núñez AM, Feria-
Gómez DF, Pérez-Ochoa
GM, Arango-Palacio L,
Rey-Valenzuela VE y
Zapata-Henao S. 2024. New
proposed of standard area
diagram for assessing Black
Sigatoka in bananas.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
22
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2422](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2422)

ABSTRACT

Black sigatoka, or black leaf streak (BLS), is caused by *Pseudocercospora fijiensis* and is the most important foliar disease in *Musa* production. Our goal was to develop a new standard area diagram (SAD) with high-resolution digital images with six disease levels: 0 (0%), 1 (0.1 – 5.0%), 2 (5.01 – 13.0%), 3 (13.01 – 23.0 %), 4 (23.01 – 40.0%), 5 (40.01 – 65.0%), and 6 (>65.0%) and compare BLS severity results in banana leaves with those based on another SAD. Five evaluations were conducted by thirteen different evaluators, and each evaluation was performed at seven-day intervals. The first assessment was done without a SADs. Evaluators performed two assessments with each SAD. The statistics were analyzed with linear regression and Lin's concordance correlation. With the proposed SAD, the evaluators improved the precision, accuracy, repeatability, and reproducibility and reduced the residual distribution, as compared using the other SAD. The proposed SAD is a tool that aids users in producing a disease estimate that is close to the real value of BLS in banana leaves.

Keywords: Phytopathometry, plant disease assessment, high-resolution images, BLS, *Pseudocercospora fijiensis*, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

In Colombia, the main diseases in banana plants are moko (*Ralstonia solanacearum*), black sigatoka or black leaf streak (BLS) (*Pseudocercospora fijiensis*) and, starting in 2019, Fusarium wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4). BLS is one of three *Pseudocercospora* leaf diseases of *Musa* and is caused by *P. fijiensis* (*Mycosphaerella fijiensis*) (Crous *et al.*, 2021). The first report of the disease dates from 1963 in the Sigatoka Valley in Fiji; in the Americas, it was first reported in 1972 in Honduras (EPPO, 2022), spreading to other *Musa* growing countries. It was first detected in Colombia in October, 1981 in a banana farm in the



Urabá production region, and, since then, it has spread all over the country, affecting bananas as well as plantains.

Nowadays, the pathogen is present in 74 countries around the world, distributed on 4 continents (EPPO, 2022). In Ecuador, the main exporter of bananas, bunch weight losses from BLS were estimated at 20% in the rainy season and 6% in the dry season (Terrero *et al.*, 2020). In Colombia, the cost of controlling this disease is 35 dollars/ha/week, which represents approximately 80 million dollars (Augura, 2022). BLS is considered the main foliar disease of *Musa* production because of its effects on plants and fruit production and its control costs. It has several effects on plants, reducing total functional leaves, bunch and fruit weight, green life and photosynthesis (Terrero *et al.*, 2020).

Fungicide spraying and affected leaf tissue removal are the main practices to control this disease. To monitor disease status in the banana production farms, standard area diagrams are used that quantify the severity (percentage of affected leaf area) of diseases in plant populations (Lopes *et al.*, 2022). Nowadays, the evaluation of BLS severity in banana leaves is based on Stover's scale, as modified by Gauhl (1989). However, this scale was obtained using black and white drawings without statistical analysis. Based on this, a new standard area diagram for evaluating BLS in banana was proposed. High resolution color photographs of diseased leaves were used, and actual disease severity was measured with the Pliman R package (Olivoto *et al.*, 2022) to elucidate intervals based on the frequency distribution of the collected leaves. Systematic errors were reduced, and accuracy, precision, repeatability and reproducibility were increased, as compared to the existing scale.

MATERIALES Y MÉTODOS

Development of the standard area diagram. 204 leaves that were naturally infected by *P. fijiensis* were randomly collected in the first four months of the year (2022). The sample was collected with different severity levels of the disease in the experimental field (7°48'12.9"N 76°39'11.8"W) with Cavendish banana (*Musa* spp. AAA) cv. 'Grand Nain', localized in the Apartadó-Antioquia Department. Collected leaves were photographed with a digital camera (Nikon D3500), and the actual severity of symptomatic leaves was determined using the Pliman R package (Olivoto *et al.*, 2022). Data frequency distribution was based on the minimum and maximum levels of

severity (Del ponte *et al.*, 2022). Subsequently, seven intervals standard area diagram were created with color photographs of leaves representing the different levels of severity.

Validation and comparison of the standard area diagram. 50 images of banana leaves were used to represent all levels of disease severity. Each image was projected randomly with the aid of a multimedia projector during 30 seconds on individual slides in Microsoft® PowerPoint® 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Thirteen evaluators with no experience with BLS quantification assessed the images five times with seven-day intervals. Previously, the evaluators were guided on how to use the Stover's scale modified by Gauhl (1989) and the proposed SAD. For the first assessment, the evaluators estimated the BLS severity without any SAD. After seven days, in the second assessment, the same evaluators assessed the images with the aid of Stover's scale, as modified by Gauhl (1989). Previously, the evaluators were guided on how to use the Stover's scale. Seven days later, a third assessment with the same scale was done to verify the repeatability of the estimates. For the fourth and fifth assessments, the evaluators were guided on how to use the proposed SAD. The images of leaves were randomly placed for each assessment.

Accuracy, precision, repeatability and reproducibility of the estimates. Lin's concordance correlation coefficient (ρ_c) (Lin, 1989) and linear regression were used to determine the accuracy and precision of the disease severity estimates. Analysis of amplitude, proportion and dispersion of absolute errors, correlation coefficient (r) and coefficient of determination (R^2) were used to determine the precision of the estimates. On the other hand, the reproducibility and repeatability of the estimates were evaluated using the SADs. The reproducibility of the estimates was determined by analyzing the R^2 values obtained from linear regressions between estimated severity values for the same sample unit by different pairs of evaluators (Nutter Junior and Schultz, 1995) and the analysis of the intraclass correlation coefficient (ICC, ρ) for the group of evaluators, as described by Nita *et al.* (2003). The repeatability of estimates was determined with regression analysis of the second assessment in relation to the first (Nutter Junior and Schultz, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Development of the standard area diagram. The minimum and maximum values of BLS severity in the 204 leaves were 0% and 93.4%, respectively. However, 50% of the leaves presented a severity of more than 17%. Based on the frequency distribution analysis, the intervals with the highest frequency of disease severity values were represented. A standard area diagram was developed to include six levels: 0 (0.0 %), 1 (0.1 – 5.0 %), 2 (5.01 – 13.0 %), 3 (13.01 – 23.0 %), 4 (23.01 – 40.0 %), 5 (40.01 – 65.0 %), and 6 (> 65 %) (Fig. 1). The levels of the SAD were subdivided into three sections to better represent the distribution of disease intensity. In this way, the evaluator can compare his sample with the lower limit, midpoint or upper limit of each level (Núñez *et al.*, 2017; Belan *et al.*, 2020; Figueiredo *et al.*, 2022). To develop the new standard area diagram, high-resolution digital images were used that represented actual symptoms of the disease instead of using black and white images or colored engravings. To measure actual severity on leaves, the functions of the Pliman R package were used; this package is a suite for performing several analyses in plant images, especially foliar analyses, with simultaneous processing of large sets of image collections, here, more than 200 leaves. Pliman showed great potential to produce accurate measures and accelerate studies involving plant disease severity measurements (Olivoto *et al.*, 2022).

Accuracy, precision, reproducibility and repeatability of estimates. Considering the regression analysis to the evaluation for each one of the evaluators, greater accuracy and precision were evidenced when the evaluators used the SADs than without them, which were higher with the use of the proposed SAD. The assessment of 100% of the evaluators who used the proposed SAD had a coefficient of determination (R^2) higher than that of the evaluations with Stover's scale modified by Gauhl (1989). In the 1st evaluation with the proposed SAD, 54% of the evaluators yielded R^2 values over 0.90 (0.84 – 0.92, mean 0.89). In the 2nd evaluation, 80% of the evaluators improved precision (0.88 – 0.94, mean 0.91) over the Stover scale, which did not obtain mean R^2 values over 0.70 (0.68 – 0.61 1st and 2nd assessment, respectively) (Table 1). The proposed SAD provided a higher precision in disease severity estimates.

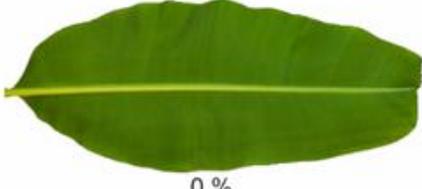
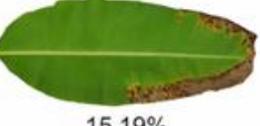
Level 0 (0%)			
Level 1 (0.1 - 5 %)	 0.97 %	 2.39 %	 4.76 %
Level 2 (5.01 - 13 %)	 6.15 %	 9.42 %	 12.85 %
Level 3 (13.01 - 23 %)	 15.19 %	 17.65 %	 22.38 %
Level 4 (23.01 - 40 %)	 25.37 %	 31.40 %	 38.12 %
Level 5 (40.01 - 65 %)	 43.67 %	 58.06 %	 61.03 %
Level 6 (> 65 %)	 73.67 %	 77.50 %	 93.42 %

Figure 1. Standard area diagram developed to quantify black leaf streak (BLS) severity on banana leaves (Cavendish AAA). The percentage shown below each digital image represents the actual severity measured with Pliman R package (Olivoto *et al.*, 2022).

Table 1 Linear regression coefficients relating actual severity vs estimated severity of black leaf streak (BLS) on banana leaves (Cavendish AAA, cv. 'Grand Nain'): Intercept (β_0), slope of the line (β_1) and coefficient of determination (R^2).

Evaluator	Without SAD			A. Stover's modified by Gauhl (1989)						B. Proposed SAD					
	β_0	β_1	R2	1st evaluation			2nd evaluation			1st evaluation			2nd evaluation		
				β_0	β_1	R2	β_0	β_1	R2	β_0	β_1	R2	β_0	β_1	R2
A	56.89*	0.71*	0.51	5.28*	0.67*	0.81	33.97*	0.32*	0.30	5.94*	1.00ns	0.84	1.67ns	0.99ns	0.89
B	29.16*	0.93ns	0.72	10.05*	0.67*	0.71	14.64*	0.60*	0.69	6.67*	1.01ns	0.89	6.63*	0.96ns	0.89
C	12.27*	0.86*	0.78	7.89*	0.64*	0.72	19.83*	0.54*	0.52	6.34*	0.86*	0.84	4.52*	0.88*	0.90
D	16.04*	0.99ns	0.88	9.47*	0.67*	0.74	6.75*	0.68*	0.81	6.90*	1.04ns	0.84	4.32*	1.00ns	0.88
E	10.30*	0.96ns	0.90	8.14*	0.67*	0.79	7.68*	0.69*	0.79	3.87*	0.96ns	0.92	1.76ns	0.88*	0.93
F	62.39*	0.60*	0.39	27.62*	0.38*	0.38	13.89*	0.60*	0.71	1.19ns	0.98ns	0.90	2.57ns	0.91*	0.92
G	33.24*	1.02ns	0.52	18.22*	0.49*	0.41	19.69*	0.54*	0.55	4.65*	0.94ns	0.91	2.63ns	0.93ns	0.91
H	28.29*	0.92ns	0.69	16.03*	0.58*	0.67	19.30*	0.55*	0.58	4.17*	0.91*	0.92	2.26ns	0.90*	0.91
I	28.02*	0.84ns	0.61	17.46*	0.56*	0.62	17.59*	0.56*	0.62	4.47*	0.85*	0.91	4.60*	0.93ns	0.94
J	4.34*	1.15*	0.94	7.61*	0.69*	0.78	19.54*	3.08*	0.39	4.44*	0.99ns	0.92	2.33ns	0.99ns	0.93
K	17.97*	0.72*	0.88	20.93*	0.50*	0.58	15.16*	0.56*	0.74	4.48*	0.84*	0.89	4.80*	0.89*	0.90
L	31.00*	0.96ns	0.68	8.40*	0.68*	0.75	21.50*	0.53*	0.51	3.79*	0.99ns	0.92	2.83*	0.92*	0.94
M	10.74*	1.13ns	0.78	4.70*	0.69*	0.85	7.93*	0.69*	0.74	5.18*	0.89*	0.89	6.96*	0.91*	0.90

*The null hypothesis was rejected in the t-test ($P = 0.05$) ^{ns} the null hypothesis ($\beta_0 = 0$ and $\beta_1 = 1$) was accepted in the t-test ($p = 0.05$).

Estimates of BLS severity with the aid of the proposed SAD were more accurate, precise and close to the actual values and, consequently, with greater agreement (ρ_c) than with Stover's scale, as shown by the analysis of coefficients of linear regression. Precision and accuracy are determinants for the identification of symptoms and represent the most appropriate way to quantify. In this study, the values of the repeatability coefficient were 91%, close to that found in other studies on different crops and diseases (Núñez *et al.*, 2017; Figueiredo *et al.*, 2022).

Reproducibility is an indicator that evaluates the efficiency of the SADs. When the proposed SAD was used, the values of the regressions of the estimates between the pairs of evaluators in the 2nd evaluation varied from 0.82 to 0.96. This means that 100% of evaluators presented R^2 values >0.80 , evidencing reproducibility of the

results. With the aid of Stover's scale, 77% of evaluators presented R^2 values <0.80 . Without any SADs, only 8% of the evaluators presented R^2 values >0.80 (Fig. 2).

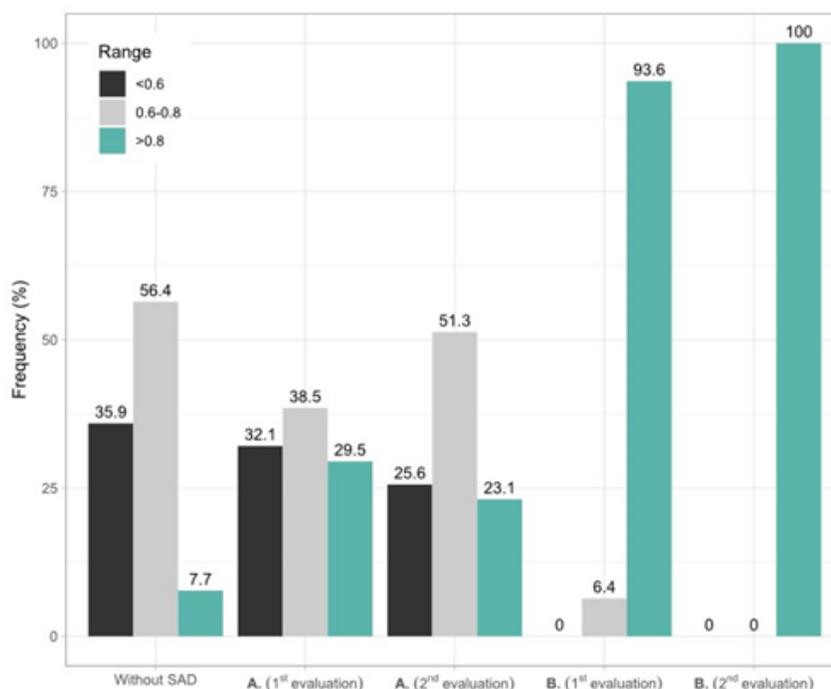


Figure 2. Graphical representation of coefficient of determination (R^2) of the linear regression equation for pairs of evaluators without and with the aid of the SADs **A.** Stover's scale modified by Gauhl (1989) **B.** Proposed SAD.

CONCLUSIONS

The validation of the proposed SAD using linear regression analysis and Lin provided similar conclusions with other studies found in the literature. There were no differences between the two validation methods, and both provided better accuracy, precision, repeatability, and reproducibility of BLS estimates in banana leaves. Therefore, the SAD proposed in this study, constructed from high-resolution digital images, is a suitable aid for visual estimates of BLS severity in banana leaves and improves the precision, accuracy repeatability and reproducibility of severity estimates.

REFERENCIAS

1. Augura, 2022. Coyuntura bananera 2021. 60 pp. Medellín, Colombia (<https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA2021.pdf>).
2. Belan, L.L., Belan, L.L., Rafael, A.D.M., *et al.*, 2020. Standard area diagram with color photographs to estimate the severity of coffee leaf rust in *Coffea canephora*. *Crop Protection* 130, 105077. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105077>.
3. Crous, P.W., Carlier, J., Roussel, V., Groenewald, J.Z., 2021. Pseudocercospora and allied genera associated with leaf spots of banana (*Musa* spp.). *Fungal Syst Evol* 7:1-19. <https://doi.org/10.3114/fuse.2021.07.01>.
4. EPPO, 2022. <https://gd.eppo.int/taxon/MYCOFI/distribution>. Last updated: 2022-05-31 (accessed January 19, 2023).
5. Del Ponte, E.M., Cazón, L.I., Alves, K.S., Pethybridge, S.J., and Bock, C.H. 2022. How much do standard area diagrams improve accuracy of visual estimates of plant disease severity? A systematic review and meta-analysis. *Tropical Plant Pathology* 47: 43–57. <https://doi.org/10.1007/s40858-021-00479-5>.
6. Figueiredo *et al.*, 2022. Coffee leaf rust assessment: comparison and validation of diagrammatic scales for *Coffea arabica*. *European Journal of Plant Pathology*. 164. 10.1007/s10658-022-02570-2.
7. Gauhl, F., 1989. Epidemiology and Ecology of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on Plantain and Banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Central America. Inibap. Translated from German (1989) by Jend M., 1994.
8. Lin, L.K., 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* vol. 45, no. 1 255-68. <https://doi.org/10.2307/2532051>.
9. Lopes, F.S., Pozza, E.A., Porto, A.C.M., *et al.*, 2022. Development and validation of a diagrammatic scale for white mold incidence in tobacco leaf discs. *Australasian Plant Pathology* 51, 31–38. <https://doi.org/10.1007/s13313-021-00828-7>.
10. Nita, M., Ellis, M.A., Madden, L.V., 2003. Reliability and accuracy of visual estimation of Phomopsis leaf blight of strawberry. *Phytopathology* 93, 995-1005. <https://doi.org/995-1005>. 10.1094/PHYTO.2003.93.8.995
11. Núñez, A.M.P., Monteiro, F.P., Pacheco, L.P., *et al.*, 2017. Development and validation of a diagrammatic scale to assess the severity of black rot of crucifers in kale. *Journal of Phytopathology* 165, 195-203. <https://doi.org/10.1111/jph.12550>.
12. Nutter, J.F.W., Schultz, P.M., 1995. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. *Canadian Journal of plant pathology* 17, 174-84. <https://doi.org/10.1080/07060669509500709>.
13. Olivoto, T., 2022. Lights, camera, pliman! An R package for plant image analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, 13, 789– 798. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13803>.
14. Terrero, Y.P.I., Peñaherrera, V.S.L., Bustamante, G.A.J., Cedeño, G.G.A., Solórzano, A.R.F., Cedeño, G.G.A., 2020. Inducción de resistencia a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y su relación con el rendimiento de plantas de banano (*Musa* AAA) Williams. *Revista Espamciencia* 11:80-87. 1390-8103.

Defoliation and leaf surgery for Sigatoka control in the subtropics

Carlos Henrique Nicoite¹; Luiz Augusto Martins Peruch^{2*}; Márcio Sônego³; Gessina Zaniboni⁴

¹Unibave, Orleans, SC, 88870-000, ²Epagri/sede, Florianópolis, SC, 88840-000, ³Epagri/EEUr, Urussanga, SC, 88840-000, ⁴Udesc, Florianópolis, SC, 88870-000

*Autor de

Correspondencia:

Luiz Augusto Martins
Peruch
lamperuch@epagri.sc.gov.br

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Nicoite CH, Martins PLA,
Sônego M and Zaniboni G.
2024. Defoliation and leaf
surgery for Sigatoka control
in the subtropics.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
23
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2423](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2423)



RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la defoliación y la cirugía para el control de la Sigatoka in banana ‘Prata Anã’ (AAB). Los tratamientos ensayados fueron: DEF- Defoliación (remoción de hojas con >30% de severidad); SUR- Cirugía (eliminación de partes de la enfermedad con <15 % de gravedad); DS- Defoliación y cirugía; NT- Sin tratamientos. La enfermedad se cuantificó mediante la determinación de la suma bruta (GS), la hoja más joven manchada (YLS) y la severidad en la quinta hoja (5LS). Los tratamientos se repitieron a intervalos de 30 días en un área certificada orgánica en el sur de Brasil desde marzo/2016 hasta marzo/2017. Los datos se sometieron a análisis de varianza y prueba de Duncan (5% de error). Los tratamientos fueron más efectivos en primavera y verano. SUR, DEF y su combinación redujeron la suma bruta en un 40-69 % y 5 LS en un 87 % en la primavera en comparación con NT. En el verano se observaron diferencias significativas del 21, 45 y 73% para YLS, GS y 5LS, respectivamente. Teniendo en cuenta los resultados, independientemente del tipo de deshojado aplicado, la práctica es importante para el control de la enfermedad.

Palabras clave: *Pseudocercospora musicola*, defoliation, severidad, fitosanidad.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of defoliation and leaf surgery for the Sigatoka disease control in ‘Dwarf Prata’ bananas (AAB). The treatments tested were: DEF. Defoliation (removal of leaves with >30% of severity); SUR. Surgery (removal of spotted parts with <15% severity); DS- Defoliation and surgery; NT- No treatments. The disease was quantified by the determination of gross sum (GS), Youngest leaf spotted (YLS) and severity in 5th leaf (5LS). Treatments were repeated at 30 days interval in an organic certified area in the South of Brazil from march/2016 to march/2017. Data were subjected to analysis of variance and Duncan test (5% error). Treatments were more effective in the spring and summer. SUR, DEF and their combination reduced gross sum by 40-69% and 5LS by 87% in the spring compared to NT. In summer significant differences of 21, 45 and 73% were observed for YLS, GS and 5LS, respectively. Considering the results, regardless the type of leaf removal applied the practice is important to control the Sigatoka disease in banana plants.

Keywords: *Pseudocercospora musicola*, defoliation, severity, phytosanity.

INTRODUCTION

In the State of Santa Catarina, banana is the main cultivated fruit, occupying about 30,000 hectares and producing about 650,000 tons annually. In this region, yellow Sigatoka (*Pseudocercospora musicola*) and black Sigatoka (*P. fijiensis*) are present in banana plantations (Lichtemberg et al. 2010), causing considerable losses in fruit production. However, according to studies yellow Sigatoka still prevails in the subtropical conditions of the Santa Catarina State (Peruch et al., 2010; Peruch et al., 2022), but this situation is slowly changing. Studies report that the incidence of black Sigatoka is growing in the north of the state (Dos Santos et al., 2022). Fungicides sprays, management of weeds, resistant cultivars, and defoliation of diseased leaves are some of the control methods recommended for managing the Sigatoka complex diseases (Marin et al. 2003, Lapeyre de Bellaire et al. 2010).

The elimination of diseased leaves is a common practice for disease control in the banana production system (Ganry et al., 2012; Peruch et al., 2015). Defoliation is a practice largely adopted, but surgery is growing in importance in the last few years, but more information is necessary to quantify its effects (Peruch et al., 2015), specially in subtropical conditions. The defoliation frequency varies according to the year's season in subtropical climates. In Winter/autumn, defoliation is applied once a month, and in spring/summer, it is applied in 15-day intervals. The objective of this research was to evaluate the effect of defoliation and surgery for Sigatoka control in a banana production system in subtropical climate.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in a certified commercial area of organic banana planted with cultivar Dwarf Prata (AAB) in subtropical conditions of the south of Brazil (28°45'20" S; 49°23'49" W) from March/2016 to March/2017. The region's climate is Humid Subtropical with Hot Summer (Cfa), according to the Koeppen classification. The average annual temperature is 19.4 °C, ranging from 14.6 °C in June to 24.1 °C in February. Total annual precipitation is 1,624 mm, with rainfall well distributed throughout the year and no defined dry season. The annual average relative humidity is 80%, ranging from 76% in December to 83% in June, with frequent dew formation, especially in autumn, winter and spring.

Banana plantation management in the experimental area was carried out according to technical recommendations for this crop in the organic system (Brazil,

2003). The banana mats were conducted in the mother-daughter-granddaughter system, with shoots being thinned when necessary. Fertilization was applied based on soil analysis with rock powder ($3 \text{ t ha}^{-1}\cdot\text{year}$) and poultry manure Niorg ($1,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}$). Weed management was carried out by manual mowing during the experiment. No pesticides were applied in the culture management for control of diseases, insects or weeds.

In this experiment four treatments were tested: DEF- Defoliation (removal of leaves with $>33\%$ of severity); SUR- Surgery (removal of spotted parts in leaves with $<15\%$ severity); DS- Defoliation and surgery; NT- No treatments. Treatments were repeated in 30 days interval from March/2016 to March/2017. Disease was quantified in two marked plants per plot by the determination of three variables: gross sum (GS), youngest leaf spotted (YLS) and severity in 5th leaf (5LS). Gross sum was quantified by the evaluation of the disease in the youngest leaves (2, 3 and 4), considering the type of lesion and its density on the leaves (Bureau et al., 1992). The youngest leaf spotted (YLS) was evaluated as the first leaf that has 10 spots with gray centers (Carlier et al., 2003). Severity in 5th leaf (5LS) was the degree of the leaf affected by the disease, determined using the Stover scale with different degrees of severity (0, 1, 5, 15, 33 and 50%). Bunch weight were also quantified in this study by the evaluation of two bunches per plot. Disease variables were evaluated in a 14 days interval to calculate a season mean value (autumn, winter, spring and summer) and bunch weight was evaluated in the final period of the experiment (summer).

The experiment adopted the randomized complete design with five repetitions. Each repetition consisted of 80 m^2 plot. Data were submitted to analysis of variance and to the mean separation test Duncan (5% error). The statistical analysis was performed by the R program version 3.5.1.

RESULTS AND DISCUSSION

The effect of leaf diseased removal showed marked differences in different seasons of the period evaluated. Treatments were more effective to control yellow Sigatoka in seasons with lower disease pressure, spring and summer (Figure 1A, 1C). No significant differences were observed for the treatments in the autumn and winter, except for treatment DS in the autumn (Figure 1B).

Surgery, defoliation and their combination improved the disease control with a reduction of the gross sum by 40-69% and 5LS by 87% in the spring compared to NT.

Sigatoka was also reduced by the leaf removal treatments considering the YLS variable in the spring, because an improvement of 18-21% was observed in this variable. In the summer, all treatments of leaf removal improved disease control for GS and 5LS variables compared with NT. Differences between 21 and 73% were observed for GS and 5LS, respectively (Figure 1A, 1C).

On the other hand, treatments failed to improve disease control in seasons with higher disease pressure, except for DS that improved YLS by 22% compared to NT in the autumn. The other variables did not show significant differences in fall and winter periods.

The analysis did not reveal differences regarding the weight of the bunch in the different leaf removal treatments (Figure 2). Only small differences were observed between treatments in this study. Jimenez and Brioso (2018) determined that surgery to control black sigatoka can improve banana production by up to 300% in small producers. According to Ganry et al. (2012) leaf removal must be a regular practice in banana where black Sigatoka is presente, but taking into account that it could affect the production beyond certain level.

Leaf removal is a cultural control method usually recommended for Sigatoka disease (Marin et al., 2003; Peruch et al., 2015; Peruch et al., 2016). Surgery is a practice that can be as efficient as leaf removal, but more research is necessary to determine when its results out stand defoliation. According to Peruch et al. (2016) surgery performed better when applied to leaves with low severity of Sigatoka, especially in conditions of lower disease pressure. Another aspect that should be considered is the frequency of defoliation. Guzman & Villalta (2006) obtained satisfactory results with weekly defoliations, while Peruch et al. (2015) found no differences in treatments with monthly defoliation.

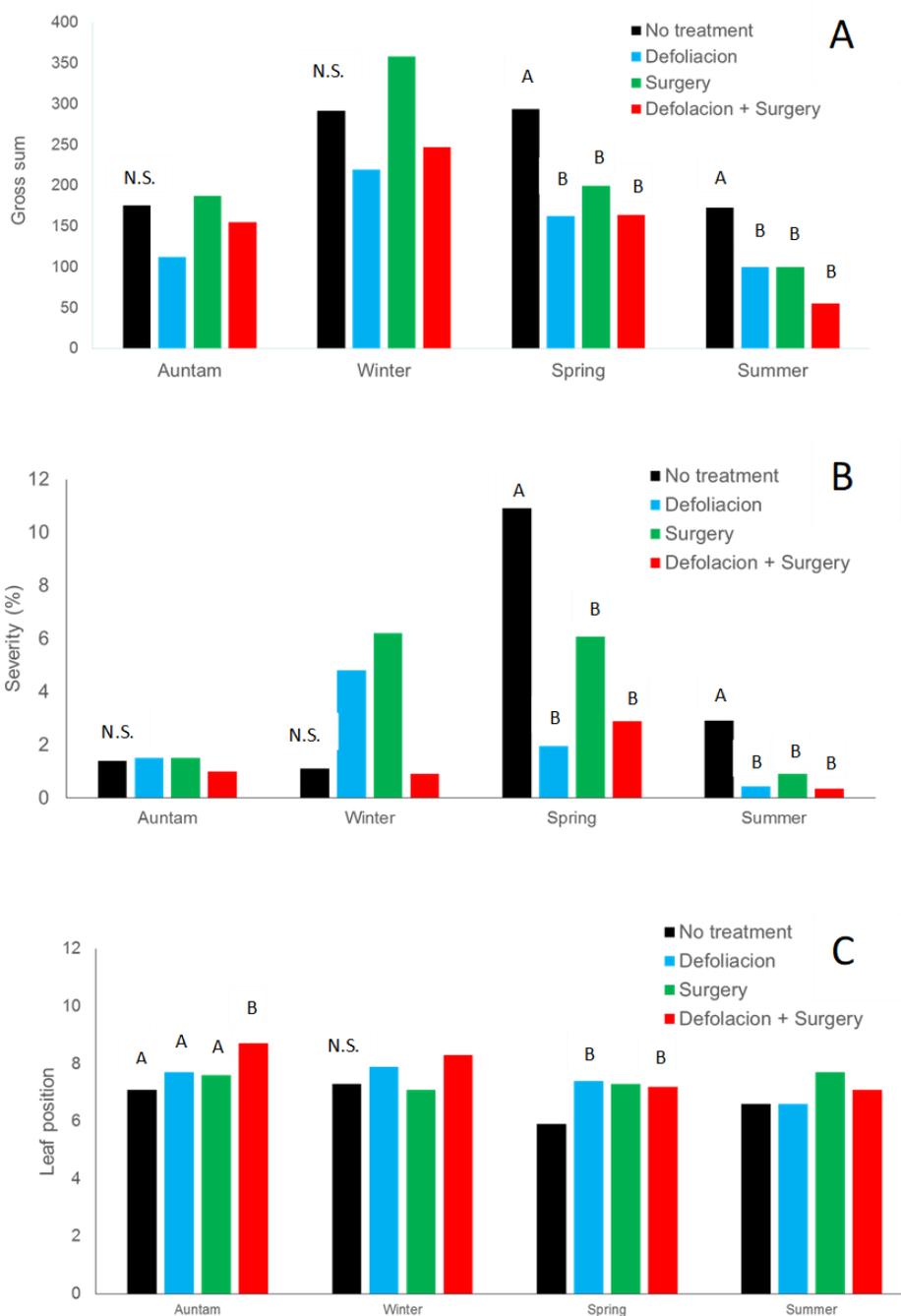


Figure 1. Gross sum-GS (A), severity in the fifth leaf- 5LS (B) and youngest leaf spotted-YLS (C) of yellow Sigatoka in banana plants submitted to leaf removal in the subtropical South of Brazil in the 2016-2017 period. Columns followed by different letters marks significantly differences by Duncan test ($P < 5\%$ error).

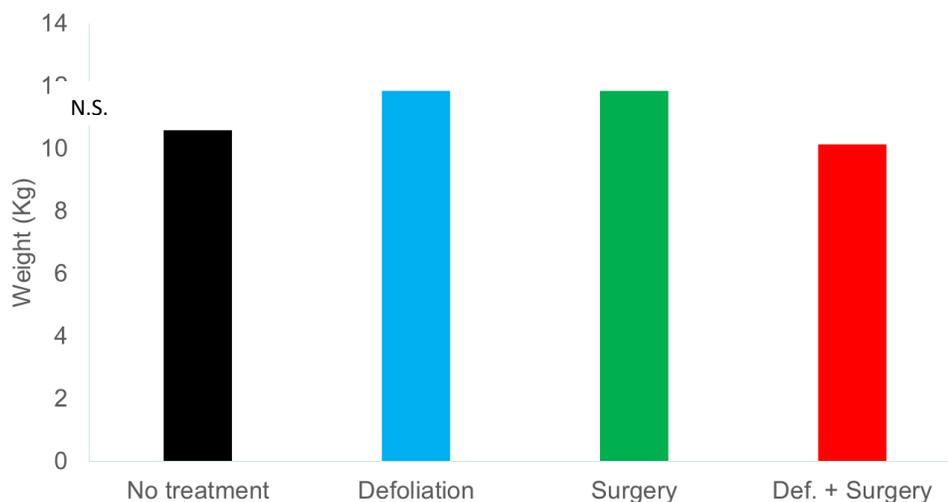


Figure 2. Bunch weight average of banana plants submitted to different treatments of leaf removal in organic commercial orchard in the subtropical region of Brazil in the 2016-2017 period. N.S. – Treatments are not significantly different by F test ($P < 5\%$ error).

This study determinate that both practices, defoliation and surgery, are important for disease control. There were no differences among the practices (defoliation and surgery) and their combination did not improve yellow sigatoka control. It was also clear that better results were achieved in lower disease pressure (spring and summer) in subtropical conditions. Wielermaker (2018), for example, considers defoliation as the main disease control method for black Sigatoka in organic production in Ecuador under tropical conditions.

CONCLUSIONS

Considering the results, the practice of defoliation is important to Sigatoka disease control in banana plants, regardless of the type of leaf removal applied. Leaf removal improved disease control in periods of lower disease pressure.

Acknowledgments: the article was supported by Acafruta, SC, Brazil

REFERENCIAS

1. Bureau E, Marin D, Guzman, JA. 1992. El sistema de preaviso para el combate de la sigatoka negra en banana y plátano. Panamá: UPEB. 40p.
2. Brazil. Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. Law No. 10831, of December 23, 2003. Published in the Official Gazette of the Union, Brasilia, 2003, Section 1, Page 8.
3. Carlier J., Waele D DE, Escalant JV. 2003. Global evaluation of *Musa* germplasm for resistance to *Fusarium* wilt, *Mycosphaerella* leaf spot diseases and nematodes. The International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France. 57p. (INIBAP Technical Guidelines, 6).
4. Dos Santos F, Miola A, Cardoso FK, Mees A, Peruch LAM, Mojolla GS. 2022. Avaliação temporal da ocorrência da sigatoka-negra em Santa Catarina. Memoirs of the XXII Congresso brasileiro de fruticultura. Florianópolis, Brasil. p. 262.
5. Ganry J, Fouré E, Bellaire II, Lescot T. 2012. An integrated approach to control the black leaf streak disease (BLS) of bananas, while reducing fungicide use and environmental impact. In: Dharumadurai D, Thajuddin N, Panneerselvam, A. (Org.). Fungicides for plant and animal diseases. Rijeka: InTech, p.193-226, 2012
6. Guzman M, Villalta R. 2006. Aporte de la deshoja sanitaria y practicas adicionales em El control de la sigatoka negra em banano (*Musa* AAA). In: Manejo de la sigatoka negra em banano y plátano en America Latina y El Caribe. Resumenes. San Jose: Corbana-Inibap-Musalac. p.21
7. Jimenez JLS, Brioso PST. 2018. Surgery or surgical defoliation in 'Grand Naine' banana in the control of black Sigatoka in the state of Rio de Janeiro. Rev. Bras. Frutic. 40: e-144.
8. Lichtemberg LA, Peruch LAM, Hinz RH, Pereira AM, Gasparotto L, Ferrari JT, Moraes WS. 2010. Black sigatoka dissemination in Brazil. Memoirs of the XX ACORBAT International Meeting. Medellin, Colombia. p.538-551.
9. Marín DH, Romero AR, Guzman M, Sutton TB. 2003. Black sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. Plant Disease, 87:3, p.208-222.
10. Peruch LAM, Medeiros AM; Albuquerque Junior CL de. 2015. Biomassa cítrica e fungicidas combinados com desfolha no controle da Sigatoka Amarela em banana "Prata". Revista de Ciências Agroveterinárias, 14: 234-239. Doi: 10.5965/223811711432015234.
11. Peruch LAM, Sônego M, Ferreira JV, Macarini D, Silva FP. 2010. Situação da sigatoka negra no sul de Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul. Annals of the I Simpósio sobre a cultura da bananeira nos subtrópicos do cone sul. Joinville, Santa Catarina p.165-172.
12. Peruch LAM, Rodrigues JAV, Silva, FA, Sônego M. 2016. Bases for application of defoliation or surgery on the yellow sigatoka control. Memoirs of the XXIII ACORBAT International Meeting. Miami, Florida. p.25
13. Wielermaker F. 2018. Organic banana cultivation and sustainability. Burleygh Dodds. pp.317-347.

Does resistance host modify airborne spore dynamics and leaf infection? Case of Black Leaf Streak Disease

Marine Seidel^{1,4*}; Jacques Avelino^{2,4}; Gorka Fourneau^{1,4,5}; Yolande Chilin-Charles^{1,4}; Catherine Abadie^{3,4}

¹CIRAD, UMR PHIM, F-97130 Capesterre-Belle-Eau. Guadeloupe, France; ²CIRAD, UMR PHIM, F-34398 Montpellier. France;

³CIRAD, UMR PHIM, CATIE, 30501 Turrialba. Costa-Rica; ⁴PHIM, University of Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, F-34398 Montpellier. France; ⁵Ecole de Biologie Industrielle, F-95000 Cergy. France

*Autor de

Correspondencia:

Marine Seidel
marine.seidel@cirad.fr

Contribución:

Científica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Seidel M, Avelino J,
Fourneau G, Chilin-Charles
Y and Abadie C. 2024.

Does resistance host modify
airborne spore dynamics
and leaf infection? Case of
Black Leaf Streak Disease.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):
24

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2424](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2424)



RESUMEN

Para comprender mejor la epidemiología de la Sigatoka Negra enfermedad causada por el hongo ascomiceto aerotransportado *Pseudocercospora fijiensis*, (i) caracterizamos y cuantificamos los inóculos, y (ii) pusimos de relieve la infección de las hojas. Se colocaron trampas de esporas y bolsas a prueba de esporas en dos variedades de banano en Guadalupe durante un año. Combinamos microscopía, qPCR y análisis de imagen para cuantificar las esporas y las lesiones. Encontramos conidios en el 2,78% y el 4,17% de las muestras de control en el campo y en la variedad Williams. Para utilizar el método qPCR, se creó una curva estándar con un coeficiente de correlación de 0,992. No se encontraron ascosporas.

Palabras clave: *Pseudocercospora fijiensis*, epidemiología, inóculo, allo-infección, auto-infección, Fitosanidad.

ABSTRACT

To better understand Black Leaf Streak Disease epidemiology, caused by the airborne ascomycete fungus *Pseudocercospora fijiensis*, we (i) characterized and quantified the inocula, and (ii) highlighted leaf infection. Spore traps and sporeproof bags were placed in Guadeloupe for a year in two banana varieties, one susceptible and one partially resistant to the disease. We combined microscopy, qPCR and image analysis to quantify spore concentrations and lesions. We found conidia in 2.78% (control) and 4.17% (Williams) samples. Using qPCR method, a standard curve was established with a determination coefficient of 0.992. No ascospore was found. The low spore concentrations were discussed in relation with resistance host and environmental conditions.

Keywords: *Pseudocercospora fijiensis*, epidemiology, inoculum, allo-infection, auto-infection, phytosanity.

INTRODUCTION

Black Leaf Streak Disease (BLSD) caused by the hemibiotroph and heterothallic ascomycete *Pseudocercospora fijiensis* Morelet is the most economically important leaf disease of banana. The disease causes yield and quality losses, ranging from 10 to 100% depending on climatic conditions and market types, due to a reduction of green life duration of fruits (Guzman *et al.*, 2018). In the case of the fruit production for exportation, the early ripening is a key issue for the transport from producing to importing countries.

The majority of exported bananas belongs to the Cavendish subgroup of species (AAA), which is susceptible to the disease. To control BLSD, up to 65 fungicides aerial treatments per year are applied in some countries (Guzman *et al.*, 2018). Deleafing of necrotic tissue on the leaves is also used (Marin *et al.*, 2003). In addition, several breeding programs have been launched globally to create resistant hybrids. Among them, Cirad creates new varieties which are partially resistant to BLSD. One of them named Pointe d'Or (AAA) was created in the 90^{ies}.

BLSD is polycyclic. The fungus has two reproduction modes: an asexual mode with the production of conidia from lesions (streaks lesions, stage 3 according to Fouré (1982)) and a sexual mode with the crossing of two strains with different sexual types leading to the production of ascospores within perithecia, in necrotic tissue stage 6 according to Fouré (1982) (Guzman *et al.*, 2018). Conidia are wind- and water-dispersed and their average dispersal distance is 3.15 meters around the source of emission. Ascospores are mainly wind-dispersed and are dispersed 213.83 meters on average around the source of emission (Rieux *et al.*, 2014). According to empirical knowledge, plant infection is mainly due to the allo-inoculum (defined here as the external inoculum produced outside a given plot, mainly composed by ascospores) whereas the role of the auto-inoculum (defined here as the internal inoculum produced inside a given plot) in the leaf infection would be minor (Stover, 1980).

Knowledge on the inocula quantities and dynamics is important to optimize BLSD management. The studies on the dynamics of the inocula of *P. fijiensis* are scarce and show contradictory results (Burt *et al.*, 1997; Gauhl, 1995). Gauhl (1995) quantified ten times more ascospores than conidia whereas Burt *et al.* (1997) found the opposite. This knowledge is also important to feed epidemiological models parametrized for BLSD. In this study, we propose to (i) characterize and quantify the proportion of conidia and ascospores in the allo- and the auto-inocula and to (ii) identify

the leaves which are infected by each inoculum, both objectives as a function of varieties and microclimate.

MATERIALES Y MÉTODOS

The study was set up in Cirad experimental station, at Neufchateau, Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe in the French West Indies, in June 2023 and is planned to last until June 2024. Two experimental plots are studied (16°04'43''N 61°36'12''W; 16°04'42''N 61°36'08''W). One is cultivated with a hybrid partially resistant to BLSD, named Pointe d'Or (Cirad) since 2008. The other one was planted with a variety susceptible to BLSD, named Williams (Cavendish subgroup), in April 2023. The size of each plot is respectively 0.10 ha and 0.22 ha. Both plots are 70 m distant from each other.

We first characterize and quantify the allo- and the auto-inocula. For that purpose, the air is sampled using multivial volumetric cyclone samplers (Burkard). These are active spore traps, sucking 16.5 L of air per minute into 1.5 µL Eppendorf vials. A total of six traps is used: two traps in each variety and two in plots without banana trees as control. From June to September 2023, two traps were in the Williams plot, one in the control plot and one in the Pointe d'Or plot. The traps are placed on ladders at 3.6 meters height, successively above and under the canopy of banana trees, to catch respectively the allo-inoculum (from June to September 2023) and the auto-inoculum (from November 2023 to August 2024). When the spore traps were above the canopy, a defoliation was made to avoid auto-inoculum. The microclimatic conditions (*i.e.* wind speed, temperature, solar radiation, relative humidity) are monitored in each plot.

The daily air samples are then put into suspension using 100 µL of TWEEN 0.2%. The samples of the same week are pooled together and concentrated thanks to a microcentrifuge (14800 rpm for 1 min) to obtain 100 µL of weekly samples. Two different methods are used to quantify each type of spores per m³ of air. Conidia of *Pseudocercospora fijiensis*, which are easily identifiable are quantified using a KOVA Glasstic Slide 10 with Grid Chamber (Kova International) under an optical microscope. Ascospores, which are not morphologically distinguishable between *Pseudocercospora* species, *i.e.* non-identifiable microscopically, are quantified after a total DNA extraction (Invitrogen PureLink Genomic DNA mini kit) using β-tubuline primers (Arzanlou *et al.*, 2007) in a TaqMan quantitative polymerase reaction chain

(qPCR). The number of ascospores is calculated considering the conidia number in the same sample using the equation (1):

$$Asc = \frac{C_{PCR} - (C_{\mu} \times C_{in\ vivo})}{2} \quad (1)$$

With,

Asc , the number of ascospores

C_{PCR} , the total number of cells of *P. fijiensis* found with the qPCR

C_{μ} , the number of conidia counted with the microscope

$C_{in\ vivo}$, the mean number of cells per conidia produced in vivo (*i.e.* on lesions on banana leaves).

$C_{in\ vivo}$ was measured on 600 conidia samples collected on lesions of BLSD on both studied varieties and printed on Potato Dextrose Agar media. The number of cells per conidia was then counted under the microscope. To link the threshold cycle (C_t) obtained with the qPCR and the number of cells of a given sample (C_{PCR}), we established a standard curve based on a range of cells. For that, conidia were produced *in vitro* according to Dita *et al.* (2021) protocol. Seven dilutions using a ten-fold factor from 10^1 to 10^7 conidia per mL were prepared. To ensure the reproducibility of the standard curve, each concentration was replicated 10 times.

Data were analysed using the R studio software (4.1.2.) and after the verification of the conditions to apply an Anova, which were not respected, a Kruskal-Wallis test was used. The second part of the study is to highlight the leaf infection by the allo- and the auto- inocula. For that purpose, we protect leaves from each inoculum using sporeproof bags. The unfurled leaf and the first leaf are protected against the allo-inoculum. The youngest leaf with streaks (*i.e.* the first leaf with stage 3 lesions) is protected against the auto-inoculum, after counting the number of lesions already present. Leaves of 4 banana trees of each variety are protected for a week. As a control, similar leaves (*i.e.* unfurled leaf, first leaf and youngest leaf with streaks) on other banana trees are unprotected. Leaves are checked every day until the first symptoms (*i.e.* rusty brown specks of less than 1 mm on the underside of the leaf (Fouré, 1982)) appear on the unprotected unfurled leaves of the controls. All leaves studied are then cut and photographed. The number of lesions on 20 cm² of the upper left side on the leaf is quantified using a machine learning image analysis (IPSDK Explorer, 2023). The differences between lesions numbers on protected and unprotected leaves allow to quantify each inoculum, depending on the protected leaves.

RESULTS AND DISCUSSION

Our results cover 12 weeks from 19th June to 10th September 2023. During this time, spore traps were above the canopy, catching the allo-inoculum of each plot. We have no results on spore trapping under the canopy yet.

Within all the 12 weekly samples, we counted a total of one conidia per μL in the 36 samples of the control and three in the 72 samples of the Williams plot. No conidia were found in the Pointe d’Or plot in any of the 24 samples. In positive samples, the concentration of conidia per m^3 of air sampled was 0.22 and 0.33, respectively in the control plot and the Williams plot (Table 1).

Table 1. Number of conidia of *P. fijiensis* sampled to assess the allo-inoculum, using Kova Glasstic Slides. No significant differences were found between the treatments in the week concentration of conidia per m^3 of air sampled and in the week concentration of conidia per m^3 of air sampled in positive samplers, according to a Kruskal-Wallis test (letters “a”). There is no positive sample for the Pointe d’Or variety (N/A: not applicable).

	Control (N = 36)	Banana plot	
		Susceptible variety (Williams (N = 72))	Resistant hybrid (Pointe d’Or (N = 24))
Frequency of conidia (%)	2.78	4.17	0
Week concentration of conidia per m^3 of air sampled	0.0196 ^a	0.0444 ^a	0 ^a
Week concentration of conidia per m^3 of air sampled in positive samples	0.2160 ^a	0.3255 ^a	N/A

The frequency of conidia found in the samples is 1.5 times higher for the susceptible variety compared to the control, and 4.2 times higher compared to the resistant hybrid. However, according to a Kruskal-Wallis test, there is no significant difference in the week concentration of conidia per m^3 of air sampled between the treatments (control, Williams and Pointe d’Or). The concentration in the allo-inoculum quantified in our study is 26 times smaller than in Burt *et al.* (1997). There is also no significant difference in the week concentration of conidia per m^3 of air sampled in the positive samples between the treatments.

These differences could be due to different inoculum pressure between Costa-Rica and Guadeloupe. The low concentration of conidia per m³ of air measured in Guadeloupe might be due to the type of inoculum sampled (*i.e.* the allo-inoculum) which is dependent on the environment of the plot studied. In Costa-Rica, maybe more uncontrolled BLSD plants were located near the spore traps than in Guadeloupe, creating a higher level of allo-inoculum. The low conidia concentration might be due the impact of the tropical storm Fiona (September 2022) and the year of sampling. In plantations around the experimental plots, the severity of the disease between 2022 and 2023 has decreased (LPG, personal communication). It cannot be excluded, however, that the low frequency of positive samples (*i.e.* containing at least 1 conidia) could be explained by the detection threshold of the counting method of 1 spore per μL .

To quantify the ascospores, we needed to assess the number of cells per conidia ($C_{in vivo}$) as described in the Equation (1). 611 and 672 conidia were studied, respectively for the Williams variety and the Pointe d'Or hybrid. The mean number of cells per conidia is 5.22 (Williams) and 4.77 (Pointe d'Or). Means are significantly different between both varieties, using a Kruskal-Wallis test (Figure 1).

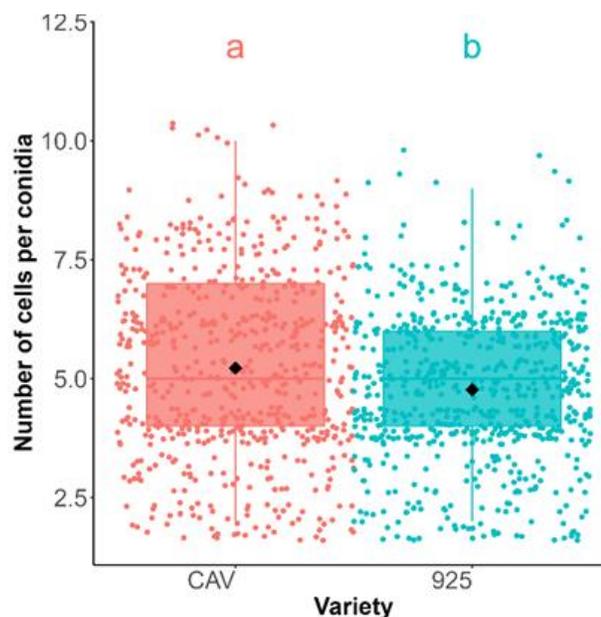


Figure 1. Number of cells per conidia. The mean is 5.22 (Williams) and 4.77 (Pointe d'Or). Letters a and b indicate a significant difference between both varieties, using a Kruskal-Wallis test.

To link the threshold cycle and the quantification of ascospore airborne concentrations, we obtained a standard curve with the following equation: $y = 52 - 2.9x$, where the y-intercept is 52 and x the slope is -2.9 (Figure 2). The determination coefficient R^2 is high with a value of 0.992. Efficiency of the qPCR is high with 119.7%.

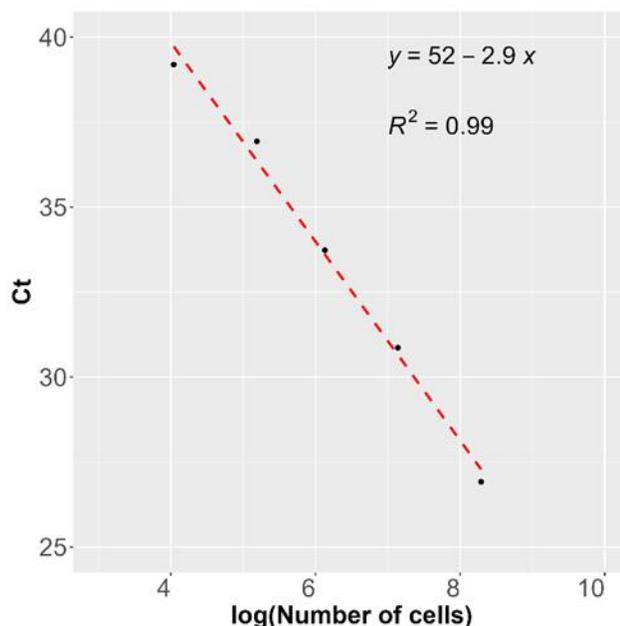


Figure 2. Standard curve of *P. fijiensis* with ten-fold logarithmic dilutions of conidia produced in vitro, with, Ct the threshold cycle, x the slope, and y the intercept. The determination coefficient (R^2) is 0.992.

The qPCR assays for the validation of the standard curve allowed to detect as much as 14 conidia per μL with certainty. The amplification was unreliable with 1 conidia per μL . The limit of quantification is between 4 to 76 cells it is to say 1 and 14 conidia per μL , or between 2 and 28 ascospores.

The Ct of the 132 weekly airborne samples (36 as control, 72 as Williams, 24 as Pointe d'Or) were all higher than 40, meaning unreliable quantification and suggesting that no ascospore could be quantified. This could be explained by a low ascospores concentration below the detection threshold of the qPCR method which limit of quantification is between 38 and 2 ascospores.

CONCLUSIONS

We characterized and quantified the allo-inoculum. We found conidia 1.5 times more often in the susceptible variety (Williams) than in the control plot. No conidia were found in the Pointe d'Or variety. We also found 1.5 more conidia per m³ of air sampled in the Williams plot compared to the control plot, but this difference was not significant. In order to determine the number of ascospores with the qPCR method, we created a standard curve with a determination coefficient of 0.992. We also showed a significant difference between the number of cells in conidia sampled on Williams lesions (5.22 cells) and on Pointe d'Or (4.77 cells). We found no ascospore in any of the three treatments. These conidia and ascospore airborne concentrations of the allo-inoculum could be due to specific environmental conditions in Guadeloupe. These spore dynamics will be followed within time in the auto-inoculum.

The results on leaf infection by the allo- and the auto-inocula are still ongoing and will be discussed.

REFERENCIAS

1. Arzanlou M, Abeln ECA, Kema GHJ, Waalwijk C, Carlier J, De Vries I, Guzman M and Crous PW. 2007. Molecular diagnostics for the Sigatoka disease complex of banana. *Phytopathology* 97:1112 – 1118.
2. Burt PJA, Rutter J, and Gonzales H. 1997. Short-distance wind dispersal of the fungal pathogens causing Sigatoka diseases in banana and plantain. *Plant Pathology* 46:451 – 458.
3. Dita M, Teixeira L, Li C, Zheng S, O'Neill W, Daniels J, Pérez-Vicente L, Carreel F, Roussel V, Carlier J, Abadie C, Carpentier SC, Iyyakutty R, Kissel E, van Wesemael J, Chase R, Tomekpe K, Roux N (Eds.). 2021. Practical guidelines for early screening and field evaluation of banana against Fusarium wilt, Pseudocercospora leaf spots and drought. Bioersivity International, Montpellier, France. 83 p.
4. Fouré E. 1982. Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Comportement des variétés. Etude de la sensibilité variétale des bananiers et plantains à *Mycosphaerella fijiensis* MORELET au Gabon (maladie des raies noires). I.- Incubation et évolution de la maladie. *Fruits* 37 (12): 749 – 759.
5. Gauhl F. 1994. Epidemiology and ecology of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on plantain and banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Central America. Thesis Doctor of Science. Systematisch-Geobotanische-Institut der Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Germany. 120p.
6. Guzman M, Perez-Vicente L, Carlier J, Abadie C, De Lapeyre de Bellaire L, Carreel F, Marin DH, Romero RA, Gauhl F, Pasberg-Gauhl C, and Jones DR. 2018. Black Leaf Streak. In: Jones DR (Ed.), *Handbook of Diseases of Banana, Abacá and Enset*. CABI, Oxon, UK, pp. 41 – 115.
7. Marin DH, Romero RA, Guzman M, and Sutton TB. 2003. Black Sigatoka: An increasing threat to banana cultivation. *Plant disease* 87 (3):208 – 222.

8. Rieux A, Soubeyrand S, Bonnot F, Klein EK, Ngando JE, Mehl A, Ravigne V, Carlier J, and De Lapeyre de Bellaire L. 2014. Long-distance wind-dispersal of spores in a fungal plant pathogen: estimation of anisotropic dispersal kernels from an extensive field experiment. *PLOS ONE* 9 (8):1 – 13.
9. Stover RH. 1980. Sigatoka leaf spots of bananas and plantains. *Plant disease* 64 (8):750 – 756.

Designing innovative spatial strategies to control black leaf streak disease of banana through modelling approach

Catherine Abadie^{1,2,5}; Eduardo Corrales B²; Béranger Decouture^{1,2}; Marta Zaffaroni³; Jean-François Rey³; José Guzmán⁴; Edgar Valverde⁴; Nancy Chaves⁴; Loup Rimbaud³.

¹CIRAD-PHIM, Costa Rica; ²CATIE, Turrialba, Costa Rica; ³INRAE-Plant Pathology, Avignon, France; ⁴CORBANA, Costa Rica; ⁵PHIM, University of Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, F-34398 Montpellier, France

**Autor de*

Correspondencia:

Catherine Abadie
catherine.abadie@cirad.fr

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Abadie C, Corrales BE,
Decouture B, Zaffaroni M,
Rey JF, Guzmán J,
Valverde E, Chaves N and
Rimbaud L. 2024.

Designing innovative
spatial strategies to control
black leaf streak disease of
banana through modelling
approach. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 25
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2425](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2425)



RESUMEN

Realizar experimentos para evaluar estrategias espaciales para el control de Sigatoka negra (SN) a escala de finca es complejo. La modelización es un enfoque clave para identificar escenarios innovadores que permitan reducir el uso de pesticidas y, al mismo tiempo, controlar la enfermedad de forma eficiente y sostenible. Para lograr este objetivo, se evaluó la eficacia de estrategias basadas directamente en la aplicación de fungicidas o en cultivación de cultivares resistentes. Para ello, se adaptó un modelo espacialmente explícito para simular epidemias de SN en un paisaje agrícola real de 300 hectáreas en Costa Rica. Se están realizando más de 11.000 simulaciones de estrategias y se identificarán los mejores escenarios que podrían probarse en el campo.

Palabras clave: simulación epidemiológica, escenarios espaciales, control sostenible, fitosanidad.

ABSTRACT

Experimentations to evaluate spatial strategies at the scale of a production basin to control Black leaf streak disease (BLS) is difficult to implement. Modelling is a key approach to identify innovative scenarios to reduce the use of pesticides while efficiently and sustainably controlling the disease. To achieve this aim, we assess the efficacy of strategies directly based on fungicide applications or based on the deployment of resistant cultivars. For that, we adapted a published spatially-explicit model to simulate BLS epidemics in a real 300-ha agricultural landscape of Costa-Rica. More than 11,000 simulations of strategies are undergoing and the best scenarios will be identified to be further tested in the field.

Keywords: epidemiological simulation, spatial scenarios, durable control, phytosanity.

INTRODUCTION

Black leaf streak disease (BLS) is the main constraint of banana production for exportation by damaging leaves and impacting fruit ripening and yield (Guzman et al., 2018). This disease is managed by frequent aerial applications of fungicides (from 15 to 50 depending on countries). Due to fungicide resistance and considering environmental impacts, such frequent fungicide strategies are not durable. As experiments are difficult to implement at the scale of a production basin (e.g. several hundred hectares), modelling is a key approach to identify innovative scenarios to reduce the use of pesticides while efficiently and sustainably controlling the disease.

The global aim of the study is to assess the efficacy of different strategies to reduce pesticide use to manage Black Leaf Streak Disease (BLSD) of banana by using a mathematical spatially-explicit model. More particularly, two different strategies are evaluated on a real production landscape (farm scale): (i) one directly based on fungicide applications (with reduction of application frequency, spatial coverage, or dose); (ii) one based on the deployment of resistant cultivars (with the increase in spatial coverage, resistance efficiency, choice of target pathogen traits).

MATERIALES Y MÉTODOS

The generic epidemiological mathematical spatially-explicit model *landsepi* (Rimbaud *et al.*, 2018) was adapted to simulate BLSD epidemics in a real agricultural landscape. The model is structured in 4 compartments (Healthy, Latent, Infectious, Removed) representing the sanitary status of plant units. The adaptation has consisted in modifying plant growth to banana (leaf emission and successive crop cycle) and 30 BLSD parameters coming from either literature or personal data (e.g. for CIRAD hybrid component).

Thirty-three spatial-temporal strategies were defined following discussion with growers (CORBANA team) in October 2022. The proposed strategies aim to reduce the index of fungicide treatment (fungicide active ingredient per ha and per year). Two main strategies were defined (Figure 1): (i) a direct fungicide reduction via a smaller of frequency of application (applied every 5, 10 and 15 days), a smaller spatial coverage (25, 50 or 75%), or a smaller dose which reduces treatment efficiency (25, 50, 75 and 100%); (ii) the replacement of the susceptible commercial variety by resistant hybrids with increasing spatial coverage (25, 50, 75%), increasing resistance efficiency (25, 50, 75 and 100%), or different choices of target (pathogen traits). We also simulate the

effect of CIRAD 938, an elite hybrid of the CIRAD breeding program of Guadeloupe, for which the resistance parameters are known.

Each scenario will be simulated 30 times on the real 347-ha banana production basin of the Finca San Pablo of CORBANA, in Costa-Rica. The area represents 295 independent subunits. The yield and epidemiological control (Green Leaf area) provided by the simulated scenarios for 3 crops cycles (3 years) will be compared between of the scenarios. The 11,760 simulations of the yield and epidemiological control, issued from 392 combinations of scenarios of direct reduction of fungicides or deployment of new resistant varieties, are undergoing and will be statistically analysed by adjusting linear mixed models to compare the efficacy of the 33 spatial-temporal strategies. The significant differences will be based on the multiple comparisons LSD Fisher test.

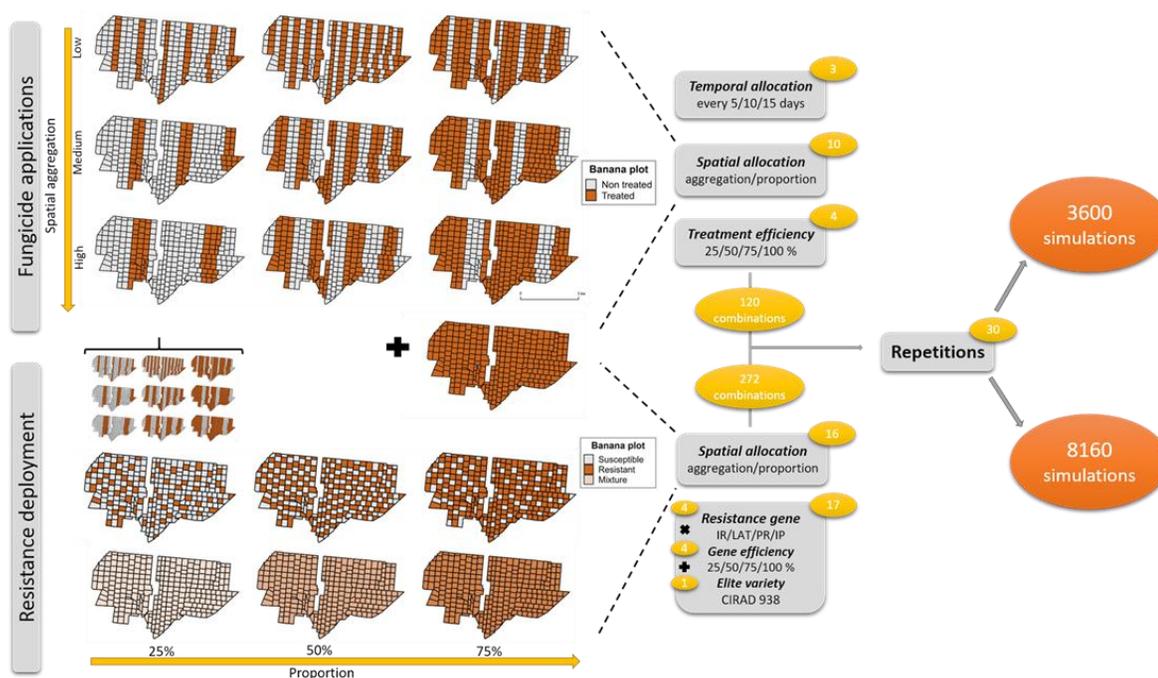


Figure 1. 50 spatiotemporal scenarios of reduction of pesticides either (i) directly by reducing fungicide coverage and frequency or fungicide doses, or (i) indirectly using resistance deployment by spatial scenarios replacing the commercial susceptible variety by a resistant variety. White and orange polygons represent non-treated and treated plots (either with fungicide application or using cultivar resistance), respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

The parametrization of the *lansepi* model for BLSD allowed to obtain realistic curves of dynamics of the 4 compartments (Healthy, Latent, Infectious or Removed). The Figure 2 shows that the dynamics of the Healthy compartment for the susceptible variety Cavendish varied from 30% to 60% of the carrying capacity (i.e. the maximal number of hosts in the landscape) whereas the other compartments can reach up to 20% for the latent and infectious states, and up to 55% for the removed state. These curves allowed to calculate a Green Leaf area (GLA) of $0.74 \text{ day}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (approximately 50% of the GLA in absence of disease), an AUDPC=0.53, and an average yield of $17.4 \text{ t ha}^{-1} \text{ season}^{-1}$ (60% of the yield in absence of disease).

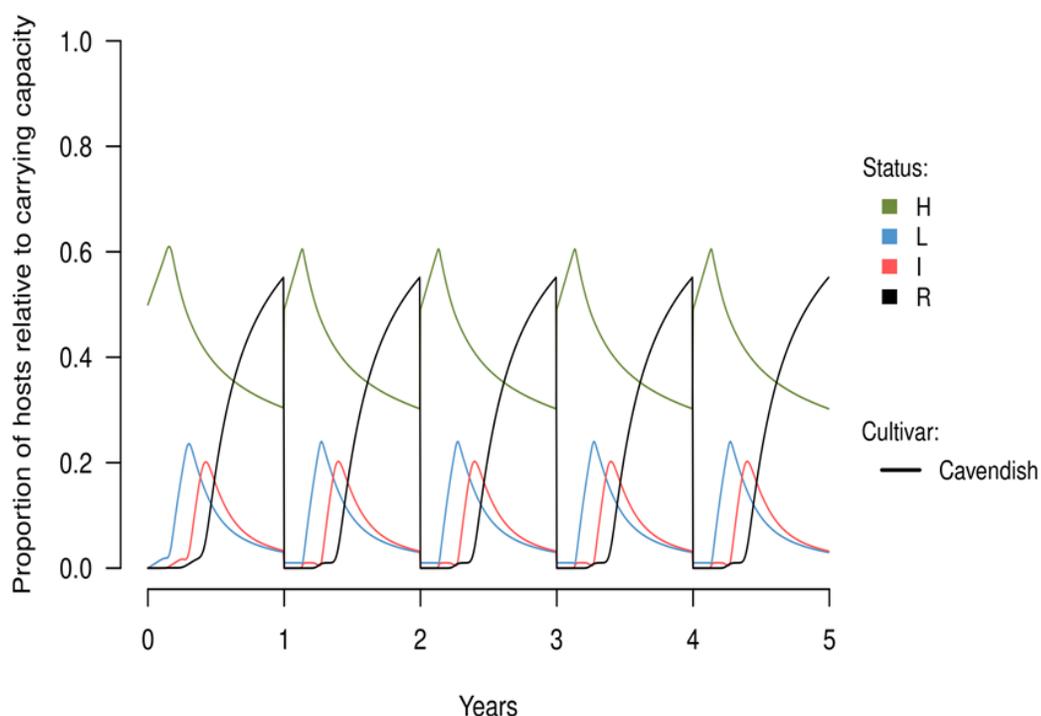


Figure 2. Epidemic dynamics in a fully susceptible banana landscape.

After the parametrization step, numerical simulations have started and are still undergoing. No numerical results can be presented for now. The outputs of the 11,760 will be statistically analysed with linear mixed models. The best scenarios of direct fungicide reduction and resistance varietal deployment to manage BLSD while sustaining an acceptable yield will be identified in 2024. The feasibility of these spatio-

temporal strategies will be discussed with banana growers to allow a future field-validation and adoption.

CONCLUSIONS

To control BLS in a real 300-ha farm, a modelling approach has been developed and allows the comparison of 50 spatial and temporal strategies of fungicides reduction either directly related with fungicide or related with the deployment of resistant varieties. This approach will allow to identify the most promising scenarios efficient in the control of the disease and allowing an appropriate yield.

REFERENCIAS

1. Guzman M, Perez-Vicente L, Carlier J, Abadie C, De Lapeyre de Bellaire L, Carreel F, Marin DH, Romero RA, Gauhl F, Pasberg-Gauhl C, and Jones DR. 2018. Black Leaf Streak. In: Jones DR (Ed.), Handbook of Diseases of Banana, Abacá and Enset. CABI, Oxon, UK, pp. 41 – 115.
2. Rimbaud L, Papaix J, Rey J-F, Barrett LG, Thrall PH. 2018. Assessing the durability and efficiency of landscape-based strategies to deploy plant resistance to pathogens. PLoS Comput Biol 14(4): e1006067. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006067>

Evaluación de tecnología basada en RNAi para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano

Flor Yuranny Canacuán Melo^{1*}; Vicente Emilio Rey Valenzuela²; Sebastian Zapata Henao²; Juan Gonzalo Morales Osorio¹; Rafael Eduardo Arango Isaza¹

¹Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, UNALMED; ²Cenibanano – Augura, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Flor Yuranny Canacuán
Melo
fycanacuanm@unal.edu.co

Contribución:
Científica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Canacuán MFY, Rey VVE,
Zapata HS, Morales OJG y
Arango IRE. 2024.
Evaluación de tecnología
basada en RNAi para el
control de la Sigatoka
Negra en el cultivo de
banano. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
26
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2426](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2426)

RESUMEN

En este estudio, se investigó el uso de la tecnología de RNAi para controlar la Sigatoka Negra en banano causada por el hongo *Pseudocercospora fijiensis*. Se sintetizaron secuencias de dsRNA que silenciaron genes importantes del hongo y se aplicaron en ascosporas y fragmentos miceliales, inhibiendo su crecimiento. Además, las secuencias de dsRNA inhibieron la infección del hongo en hojas de banano cuando se transfirieron directamente al micelio.

Palabras clave: banano, RNAi, *Pseudocercospora fijiensis*, Sigatoka negra, sanidad.

ABSTRACT

In this study, the use of RNAi technology to control Black Sigatoka in bananas caused by the fungus *Pseudocercospora fijiensis* was investigated. Double-stranded RNA sequences were synthesized to silence important genes of the fungus and were applied to ascospores and mycelial fragments, inhibiting their growth. Additionally, the dsRNA sequences inhibited the fungus infection in banana leaves when directly transferred to the mycelium.

Keywords: banana, RNAi, *Pseudocercospora fijiensis*, Sigatoka negra, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

El banano es uno de los cultivos más importantes en el mundo tanto para consumo local como para exportación. La producción de este cultivo se ve afectada por la enfermedad llamada Sigatoka negra, la cual es causada por el hongo *Pseudocercospora fijiensis*. Esta es considerada como la enfermedad foliar más importante en banano y plátano desde el punto de vista económico (Friesen, 2016). El manejo actual de la enfermedad se basa principalmente en el uso de fungicidas



químicos, los cuales presentan riesgo ambiental y en la salud, además de incrementar notablemente los costos de producción. Adicionalmente, las poblaciones del patógeno generan rápidamente resistencia a algunos grupos de fungicidas, por lo que ya no es posible usarlos para su control (Churchill, 2011; Chong et al., 2016). Debido a lo anterior, es necesaria la búsqueda de nuevas alternativas para el manejo de esta enfermedad.

El propósito de este trabajo fue evaluar herramientas que permitan mejorar el manejo de la Sigatoka Negra. La tecnología de RNAi para inducir el silenciamiento de genes, se ha explorado en diferentes patosistemas para la protección de los cultivos, mediante la represión selectiva de genes importantes para la patogenicidad en los fitopatógenos (Girard et al., 2016; Wang et al., 2016; Wang et al., 2017). Estos reportes indican que el uso de la tecnología de RNAi puede ser utilizada como alternativa al uso de fungicidas en el control de fitopatógenos.

En este contexto, en este trabajo se investigó el uso de las secuencias de dsRNA para la inducción de silenciamiento en *P. fijiensis* y su evaluación en la protección de la enfermedad en las plántulas de banano susceptibles. En este proyecto se sintetizaron secuencias de RNA de doble cadena (dsRNA) homólogas a los genes *PfFUS3* y *PfCYP51* que previamente se identificaron como genes importantes en la patogenicidad del hongo. Las secuencias se aplicaron en ascosporas para evaluar su efecto en la inhibición del crecimiento del tubo germinativo y se transflectaron en *P. fijiensis* utilizando el método de LiCl para evaluar su efecto en la inhibición del crecimiento miceliar y la inhibición de la expresión de estos genes por PCR en tiempo real. Además, los micelios transflectados con las secuencias de dsRNA fueron aplicados en plantas de banano susceptibles para evaluar su efecto en la protección de la Sigatoka negra en ambiente controlado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y síntesis de moléculas específicas de dsRNA. Se eligieron como blanco los genes *Fus3* y *CYP51* en función de su potencial para el control de la enfermedad. El gen *PfCYP51* (XM_007930561.1) se ha identificado como gen diana del uso de fungicidas inhibidores de la desmetilación (DMI) (Canas-Gutierrez et al., 2009) y *PfFus3* (XM_007929802.1) se ha identificado como gen importante para la patogenicidad celular y la virulencia en *P. fijiensis* (Onyilo et al., 2018). El diseño de las secuencias de dsRNA se realizó mediante la búsqueda de primers para cada gen usando el programa en línea primer3 (<http://bioinfo.ut.ee/primer3/>), para amplificar un

producto de PCR de 300-600 pb de longitud. Se realizó blast con los transcritos de *Musa acuminata* AAA -(taxid:214697) y con los de *P. fijiensis* (taxid:383855) para evitar secuencias con efecto off-target. Para la síntesis de las secuencias de dsRNA se utilizó el kit MEGAscript™ RNAi (Thermo Scientific), siguiendo las condiciones del fabricante.

Pruebas de silenciamiento *in vitro* en diferentes estructuras. Se realizaron ensayos de silenciamiento *in vitro* en micelio y en esporas de *P. fijiensis*. Los ensayos se realizaron con las secuencias de dsRNA para cada gen. Se realizaron 3 réplicas en tiempos diferentes para cada gen. Para evaluar el efecto de las secuencias de dsRNA en la longitud del tubo germinativo de ascosporas de *P. fijiensis*, se aplicaron 20 μ L de las secuencias de dsRNA directamente sobre ascosporas descargadas sobre agar granulado al 2%. Luego se incubó por 40 horas y se tomaron fotografías con el fin de medir la longitud del tubo germinativo, de al menos 30 ascosporas por cada tratamiento, usando el software ImageJ. El efecto de las secuencias de dsRNA sobre el crecimiento miceliar se evaluó en platos de 96 pozos utilizando el método de PEG/LiCl (Moazeni et al., 2012). Se evaluó las secuencias de dsRNA a una concentración de 100 ng/mL, 200 ng/mL, 500 ng/mL y 1000 ng/mL. Como control negativo se utilizó la suspensión miceliar sin las secuencias de dsRNA. Los microplatos fueron incubados a 25 °C por 11 días, y el crecimiento miceliar fue medido mediante lectura de absorbancia a 595 nm en lector de ELISA. Para confirmar el silenciamiento de los genes, se realizó cuantificación relativa de los niveles de mRNA de los genes evaluados mediante q-PCR.

Experimentos de infección en invernaderos para probar el efecto de RNAi y la administración en hojas de banano: Se preparó una suspensión de fragmentos miceliar de la cepa de *P. fijiensis* de 15 días de crecimiento en medio PDA, realizando un raspado con pincel y agua destilada estériles. La suspensión se filtró y se ajustó la concentración a 1×10^6 . Para facilitar el ingreso de las secuencias de dsRNA a la célula se utilizó el método modificado de Polietilenglicol, reportado por Moazeni, Khorramizadeh (16). Al día siguiente, se centrifugaron los fragmentos miceliar y se resuspendieron en 10 mL de gelatina microbiológica al 2%.

Las inoculaciones se realizaron en plantas susceptibles de banano del cultivar Williams, rociando las primeras tres hojas de cada planta desde una distancia de aproximadamente 20 cm. Después de la inoculación, las plantas se colocaron en cámara de infección con una temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$, humedad relativa del 95% y un fotoperiodo de 12 h luz / 12 h oscuridad. Todas las pruebas de invernadero (todos los

tratamientos, incluidos los controles) siguieron un diseño de bloques al azar completo. Los experimentos se establecieron en un período de 49 días después de la inoculación del patógeno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño y síntesis de moléculas específicas de dsRNA: Se sintetizaron un total de 5 secuencias de dsRNA homologas a la región codificante de cada gen con un tamaño de 146-363 pb, sin offtargets en banano ni en *P. fijiensis*. Se sintetizaron 2 secuencias de dsRNA homólogas al gen *PfFus3* y 3 secuencias homólogas al gen *PfCYP51* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Primers utilizados en la síntesis de dsRNA

Gen	Secuencia de los primers	Tamaño del amplicón	Eficiencia esperada
<i>PfFus3</i>	Forward: taatacgactcactataggggtacgtcgcaactc gatggta	306	49.72
	Reverse: taatacgactcactataggggtcaagagccaagtcggaag		
	Forward: taatacgactcactataggggtcggtaacgtcatatccaa	315	50.37
	Reverse: taatacgactcactataggggtgggcatagcagattcagg		
<i>PfCYP51</i>	Forward: taatacgactcactatagggccgtgttgcttaacgtgttg	363	52.72
	Reverse: taatacgactcactatagggaggtgaggccatatttgacg		
	Forward: taatacgactcactataggggatggcggaagtctacacagc	317	51.38
	reverse: taatacgactcactataggggtcggcgtacgttaactcctt		
	Forward: taatacgactcactataggggaccacacactccctccttg	146	47.22
	Reverse: taatacgactcactatagggcctccttgacatgctttggt		

Pruebas de silenciamiento *in vitro* en diferentes estructuras: Se encontró que una de las secuencias de dsRNA homólogas al gen *PfCYP51*, causó la inhibición de la longitud del tubo germinativo a concentraciones de 200 ng/mL, 500 ng/mL y 1000 ng/mL en comparación con el control (Figura 1). Las dos secuencias homólogas al gen *PfFus3* lograron una inhibición de la longitud del tubo germinativo en comparación al control cuando se aplicaron a concentraciones de 100 ng/mL, 200 ng/mL, 500 ng/mL (Figura 1). Las secuencias de dsRNA que tuvieron efecto en el crecimiento del tubo

germinativo, lograron además inducir la inhibición en el crecimiento micelial, y la reducción en los niveles de mRNA comparado con el control (Figura 2).

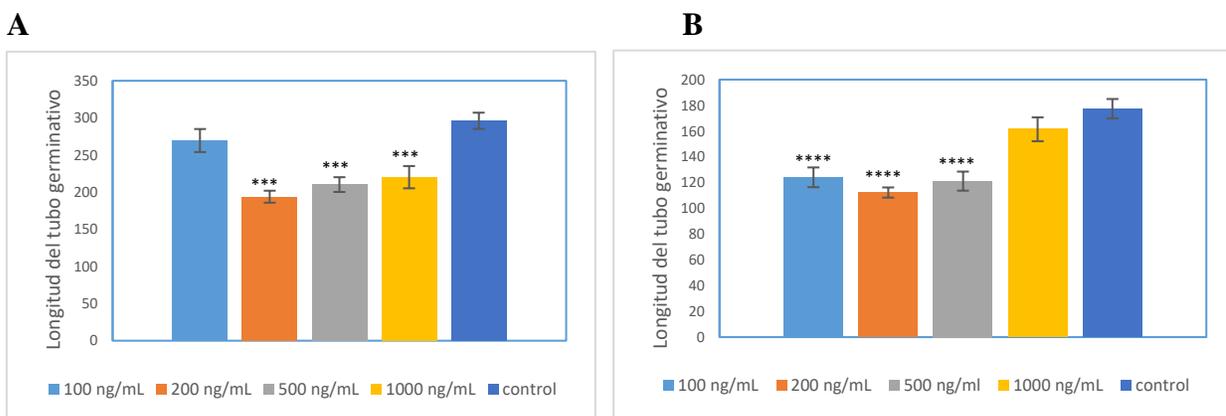


Figura 1. Tamaño del tubo germinativo en µm de ascosporas tratadas con secuencias de dsRNA homologas a los genes A. *PfCYP51* y B. *PfFus3*

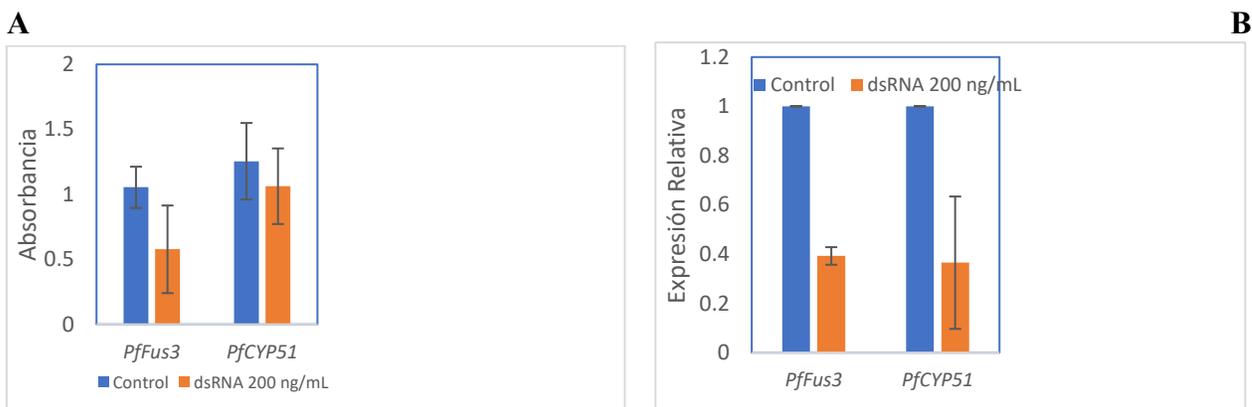


Figura 2. A. Absorbancia a 595 nm correspondiente al crecimiento de los micelios transfectedos con las secuencias de dsRNA. B. Niveles relativos de expresión génica en micelios después de la exposición a las secuencias de dsRNA.

Experimentos de infección en invernaderos para probar el efecto de RNAi y la administración en hojas de banano: Se utilizó una concentración de dsRNA de 200 ng/mL en todos los experimentos. Las infecciones se realizaron por aspersión de los fragmentos miceliares en la superficie de la hoja. Las lesiones necróticas se contaron a las semanas 3, 4, 5, y 6 después de la infección. Se calculó el porcentaje de infección y se realizó un análisis de medidas repetidas usando el programa R. Las plántulas de

banano infectadas con micelio de *P. fijiensis* transfectados con las secuencias de dsRNA tuvieron menos síntomas de enfermedad que las plantas control, estas diferencias fueron estadísticamente significativas (valor $p < 0.001$, Figura 3).

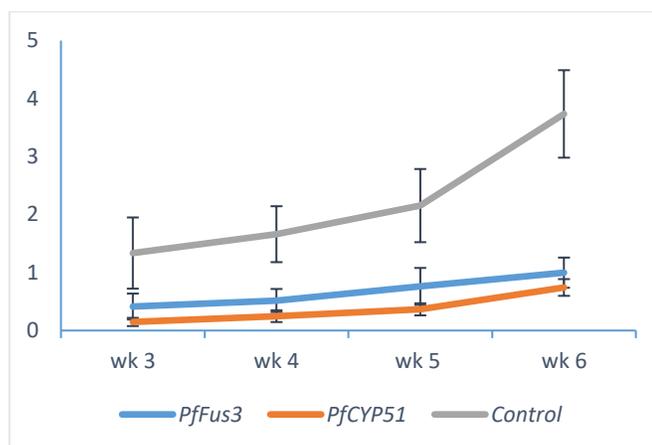


Figura 3. Porcentaje de infección y progreso de la enfermedad causada por *P. fijiensis* en plantas de banano tratadas con micelios transfectados con secuencias de dsRNA homólogas a los genes *PfFus3* y *PfCYP51*.

CONCLUSIONES

En este trabajo se demostró que el silenciamiento por RNAi puede ser inducido en *P. fijiensis* a través de la aplicación directa y la transfección de moléculas dsRNA homólogas a genes del hongo. Las secuencias de dsRNA *PfFus3* y *PfCYP51* utilizadas, lograron con éxito la inhibición del crecimiento micelial y del tubo germinativo en el hongo. Además, la inducción del silenciamiento puede disminuir la patogenicidad del hongo en plantas de banano susceptibles. La efectividad en la inducción del silenciamiento en *P. fijiensis* mediante la aplicación directa de las secuencias de dsRNA, abre la posibilidad de usar la tecnología de RNAi para combatir la Sigatoka negra. Esta estrategia es una alternativa que tiene ventajas sobre el uso de compuestos químicos. A diferencia de los últimos, los dsRNA son compuestos biocompatibles, biodegradables y la evolución de la resistencia mediante la selección de mutaciones de la secuencia diana de dsRNA es poco probable.

REFERENCIAS

1. Chong, P., J. Essoh, R. Arango, L. C. Keizer, I. Stergiopoulos, M. Seidl, M. Guzman, J. Sandoval, P. Verweij, G. Scalliet, H. Sierotzski, Gert H. J., and G. H. Kema. 2016. 'Global analysis of reduced sensitivity to azole fungicides in the banana black Sigatoka pathogen *Pseudocercospora fijiensis*', *Submitted to PLoS One*.
2. Churchill, A. C. 2011. '*Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control', *Mol Plant Pathol*, 12: 307-28.
3. Friesen, T. L. 2016. 'Combating the Sigatoka Disease Complex on Banana', *PLoS Genet*, 12: e1006234.
4. Girard, I. J., A. G. McLoughlin, T. R. de Kievit, D. W. Fernando, and M. F. Belmonte. 2016. 'Integrating Large-Scale Data and RNA Technology to Protect Crops from Fungal Pathogens', *Frontiers in Plant Science*, 7: 631.
5. Moazeni, M., M. R. Khoramizadeh, P. Kordbacheh, Z. Sepehrizadeh, H. Zeraati, F. Noorbakhsh, L. Teimoori-Toolabi, and S. Rezaie. 2012. 'RNA-mediated gene silencing in *Candida albicans*: inhibition of hyphae formation by use of RNAi technology', *Mycopathologia*, 174: 177-85.
6. Wang, M., N. Thomas, and H. Jin. 2017. 'Cross-kingdom RNA trafficking and environmental RNAi for powerful innovative pre- and post-harvest plant protection', *Curr Opin Plant Biol*, 38: 133-41.
7. Wang, M., A. Weiberg, F. M. Lin, B. P. Thomma, H. D. Huang, and H. Jin. 2016. 'Bidirectional cross-kingdom RNAi and fungal uptake of external RNAs confer plant protection', *Nature Plants*, 2: 16151.

La investigación básica y aplicada, como herramienta para el control de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el Soconusco, Chiapas, México.

Román Octavio Pacheco-Gomez*

Asociacion Agrícola de Productores de Plátano del Soconusco.

*Autor de

Correspondencia:

Román Octavio Pacheco-Gomez
rpachecoi_2007@hotmail.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

06 Abril, 2024

Cita:

Pacheco-Gomez RO. 2024.

La investigación básica y aplicada, como herramienta para el control de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el Soconusco, Chiapas, Mexico. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 27
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2427>

RESUMEN

Se utilizó información epidemiológica de investigación básica y se llevó a investigación aplicada, revisando condiciones ambientales favorables para el desarrollo de Sigatoka negra en la región del Soconusco, Chiapas y su relación con incidencia, severidad, y liberación de conidios y ascosporas, con la finalidad de detectar el periodo de latencia del hongo de la Sigatoka negra o de baja prevalencia de la enfermedad, que permitan suprimir algunas aspersiones aéreas, alargando intervalos de aspersión, sin detrimento del control de la enfermedad. Es así que de la semana 05 a la semana 19 y dependiendo del municipio que se trate, es posible suprimir entre 4 a 6 aspersiones de agroquímicos, reduciendo el impacto ambiental de la actividad platanera, al suprimir toneladas de ingredientes activos de agroquímicos arrojados al medio ambiente.

Palabras clave: *Musa* spp., Sigatoka negra, control químico, impacto ambiental, Fitosanidad.

ABSTRACT

Epidemiological information from basic research was used and applied research was carried out, reviewing favorable environmental conditions for the development of black Sigatoka in the Soconusco region, Chiapas and its relationship with incidence, severity, and release of conidia and ascospores, with the purpose of detect the latency period of the black Sigatoka fungus or low prevalence of the disease, which allows the suppression of some aerial spraying, lengthening spraying intervals, without detriment to the control of the disease. Thus, from week 05 to week 19 and depending on the municipality in question, it is possible to eliminate between 4 to 6 agrochemical sprays, reducing the environmental impact of the activity, by eliminating tons of active agrochemical ingredients thrown into the environment.

Keywords: *Musa* spp., black Sigatoka, chemical control, environmental impact, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

La región del Soconusco, Chiapas, se caracteriza por tener condiciones edafoclimáticas apropiadas para la explotación de cultivos tropicales; incluye seis municipios que se destacan como productores de musáceas, con 10,900 ha de banano tecnificadas y 4,500 ha de plátano bajo condiciones de riego y temporal. Al igual que en todo el mundo donde se cultivan estas musáceas, la Sigatoka negra es la limitante número uno para la producción de banano y plátano. El control de esta enfermedad foliar está basado en el control químico y soportado por labores estrictas de saneo semanal. En este cultivo los fungicidas utilizados son a base de mancozeb, clorotalonil, fungicidas de origen botánico y sistémicos y traslaminares existentes en el mercado. Actualmente se realizan en promedio de 52 a 58 aspersiones aéreas con intervalos de aplicación de 5 a 7 días.

Por otra parte, la Asociación Agrícola de Productores de Plátano del Soconusco (AAPPS), es la entidad que agrupa a todos los productores de estas musáceas en la región, proveyendo servicios de asistencia técnica, administración y comercialización a sus socios. En este sentido, el presente trabajo no es una investigación científica de la AAPPS, es solo la aplicación y utilización de investigación básica ya generada y de herramientas técnicas disponibles, para mejorar los programas de control químico de Sigatoka negra en esta región y ofrecer a los productores, alternativas sostenibles, seguras para la salud humana y amigables con el medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La primera investigación básica que aplicamos directo en el campo, fue generada en los años 2011-2012, por el grupo interdisciplinario de investigación en musáceas, conformado por personal científico del Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY), la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el marco del proyecto: “Programa integral para el manejo del cultivo de plátano impulsando las buenas prácticas de campo e inocuidad, basados en la investigación y aplicación de herramientas biotecnológicas”, Fordecyt 116886. (Canto-Canche, 2012).

Fue colocada una trampa cazaesporas en un lote comercial de banano al natural, sin control de la enfermedad Sigatoka negra. El resultado se describe en la figura 1, donde se muestra la dinámica de conidios y ascosporas capturados durante un año. Desde entonces nuestro programa de control químico se redireccionó a la aplicación de fungicidas fuertes en las semanas con picos altos de producción y descarga de esporas,

en el entendido que combatimos al hongo antes de que aparezcan los primeros síntomas y alcance cantidades importantes de propágulos que pongan en riesgo la producción. Consideramos semanas decisivas para el control de la enfermedad la 2, 21, 34, 37, 40, 41 y 47. Para efecto de semanas consideradas como de periodo de latencia del hongo, se distingue la ausencia de ascosporas desde la semana 46 a la 18 del siguiente año.

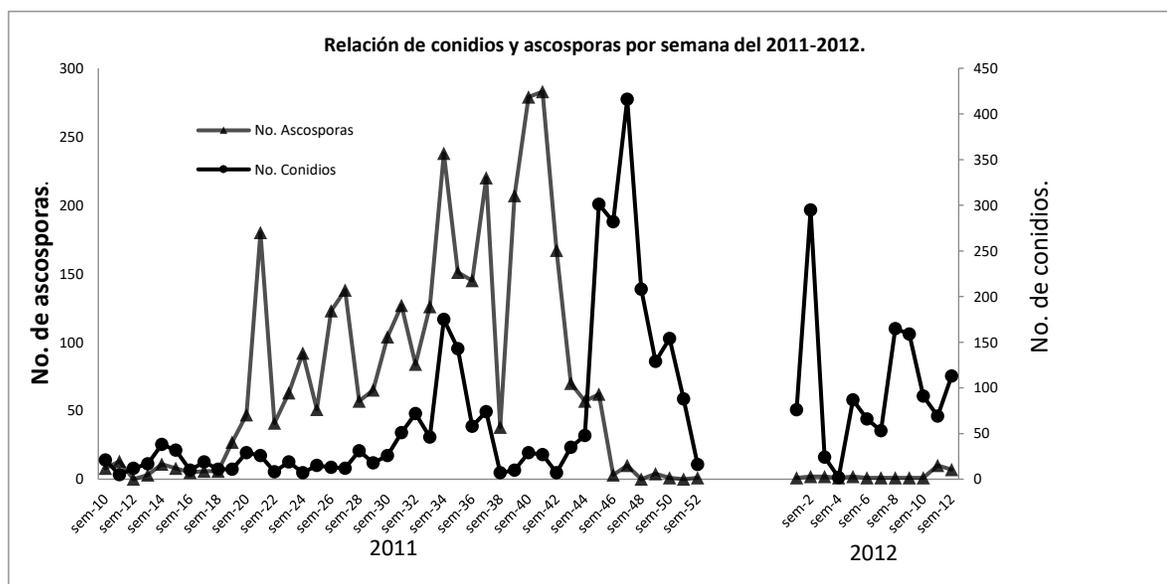


Figura 1. Numero de ascosporas o de conidios por semana, capturados en la trampa 1 (tratamiento sin control).

Trampeo de esporas y estaciones climáticas

Con base en esta investigación, en el año 2021 instalamos estaciones climatológicas y trampas cazaesporas en plantaciones bananeras comerciales que denominamos “centinela”, distribuidas en los municipios de Huehuetan, Mazatan, Tapachula y Suchiate del estado de Chiapas, con la finalidad de detectar semanas en las que el hongo de la Sigatoka entra en latencia o bien su reproducción es baja, por no tener las condiciones ambientales apropiadas para su desarrollo.

La información climática fue transformada a horas/semana con condiciones ambientales altamente favorables para el desarrollo de la enfermedad, de acuerdo a la clasificación hecha por Waldir-Cintra *et al.*, 2008, que caracterizan 5 clases de favorabilidad de desarrollo de Sigatoka negra en función de la temperatura y la humedad relativa.

Para este caso práctico se utilizó el rango de temperatura de 24 a 29 °C, con Humedad relativa de 90% a más, caracterizado como condiciones ambientales altamente favorables.

Hoja Más Joven Infeccionada con Estría

En cuanto al comportamiento de la enfermedad Sigatoka negra, todas las plantaciones bananeras cuentan con información del comportamiento semanal de la enfermedad y mediante los descriptores biológicos de Hoja más Joven Infeccionada, Hojas Libres de estrías y Numero de estrías en la hoja más joven, se han construido curvas que indican los picos máximos de incidencia y severidad de la enfermedad.

Frentes Fríos

Otro factor que se consideró, fue el registro de ocurrencia de frentes fríos en los últimos años y durante los meses de enero a mayo, que es el periodo seco y de latencia del hongo de la Sigatoka negra. Generalmente la ocurrencia de estos fenómenos afecta fuertemente al centro y norte del país con la ocurrencia de heladas y nevadas, pero con repercusiones para el cultivo de banano en el Soconusco, sobre todo en el mes de enero donde se han registrado temperaturas mínimas de 18.9 °C.

Análisis de la información

Fueron contrastados los datos de captura de esporas, Hoja más Joven Infeccionada con Estría y los datos de Condiciones Ambientales Altamente Favorables para el desarrollo de la enfermedad, definiendo el periodo de latencia del hongo, para la toma de decisiones y suprimir un mínimo de aspersiones en el periodo seco del año 2024.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se puede observar, para el municipio de Huehuetan, Chiapas, que la captura de ascosporas (fase sexual del hongo de la Sigatoka) en la plantación comercial Karla con control de la enfermedad, tiene un comportamiento similar al lote sin control en años anteriores, con la diferencia que por ser con programa de control químico la cantidad capturada es bastante menor. Se observa también que el periodo de latencia del hongo de la Sigatoka negra está definido en las semanas 45 a 18 del siguiente año.



Figura 2. Cantidad de ascosporas por semana capturadas en la plantación centinela Karla-Huehuetán, 2021 comparado con el lote sin control químico.

En la figura 3, se presenta la captura de ascosporas en la plantación Normandía, otro ejemplo de plantación “centinela” con control de la enfermedad ubicada en el municipio de Mazatan, Chiapas. El comportamiento también es similar con algunos picos que coinciden en las semanas 11, 20 y 32. El programa de control en esta plantación fue muy efectivo, lo que dio como resultado baja esporulación del hongo. Es muy notorio el periodo de latencia del hongo de la Sigatoka en este municipio y está comprendido entre las semanas 46 a 18 del siguiente año. La misma información se generó en los municipios de Tapachula y Suchiate.



Figura 3. Cantidad de ascosporas por semana capturadas en la plantación centinela Normandía-Mazatan, 2021 comparado con el lote sin control químico.

En la figura 4 se presenta el comportamiento de la enfermedad en la plantación centinela Karla en el municipio de Huehuetán, la información indica que la infección incrementa en las semanas 01, 07, 09, 19, 22, del primer semestre del año; siendo la semana 29 de caída drástica; no obstante, en lo general la infección se considera baja a lo largo del año. La infección disminuye a partir de la semana 52 y hasta la semana 18 del siguiente año. También se generó esta información para los municipios de Tapachula y Suchiate.

Cabe mencionar que en años anteriores al menos una plantación bananera en el municipio de Tapachula, ha logrado suprimir al menos cuatro aspersiones en el periodo seco en los meses de febrero a mayo, con excelentes resultados de control de la enfermedad, teniendo como soporte su historial de hoja más joven infectada y manejando intervalos de aspersión de 10 a 14 días con fungicidas protectantes.

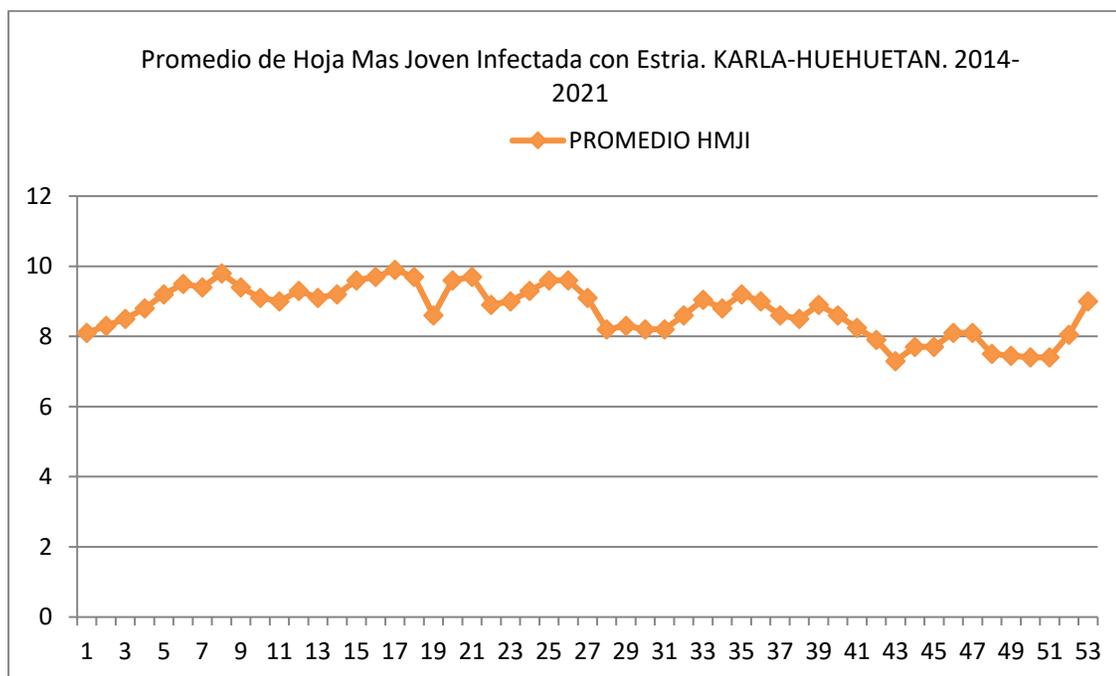


Figura 4. Promedio de Hoja Más Joven Infeccionada con Estría. Plantación centinela Karla, municipio de Huehuetan, Chiapas. 2014-2021.

CONCLUSIONES

La intervención específica y la eliminación de la inflorescencia son prácticas adecuadas para la programación de cosecha en banano, ya que reducen los excedentes de fruta en el segundo semestre donde el valor pagado es menor que en primer semestre, estas prácticas deben realizarse basadas en un análisis previo análisis poblacional donde sea considerado el porcentaje de fruta excedente.

REFERENCIAS

1. Canto Canché B. 2012. Innovaciones para el manejo integrado en campo de la Sigatoka negra en México. Aportaciones de la investigación básica.
2. Waldir-Cintra *et al.* 2008. WORLDWIDE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF BLACK SIGATOKA FOR BANANA: PREDICTIONS BASED ON CLIMATE CHANGE MODELS. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*, v.65, special issue, p.40-53.

Adavelt™ Active: a second generation picolinamide fungicide for use against black sigatoka disease on banana

Alejandro Cedeño^{1*}; Eduardo Posada²; Mayra Cathme³

¹Corteva Agriscience Costa Rica, San José, Costa Rica; ²Corteva Agriscience Colombia, Bogotá, Colombia; ³Corteva Agriscience Ecuador, Guayaquil, Ecuador

*Autor de

Correspondencia:

Alejandro Cedeño
alejandro.cedeno@corteva.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

06 Abril, 2024

Cita:

Cedeño A, Posada E and Cathme. 2024. Adavelt™ Active: a second generation picolinamide fungicide for use against black sigatoka disease on banana. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 28
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2428>

RESUMEN

Adavelt™ active (florylpicoxamid), es un fungicida picolinamida de segunda generación (FRAC grupo 21) de Corteva Agriscience para el control de la enfermedad Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en el cultivo de banano. Adavelt™ ha sido evaluado en ensayos de campo en los principales países productores de banano en la región Mesoandina, como Ecuador, Colombia y Costa Rica. Los resultados muestran una actividad sobresaliente de Adavelt™ contra la sigatoka negra a una dosis de 25 g ai ha⁻¹, superior a los estándares comerciales. Adavelt™ ofrecerá a los productores de banano una innovadora y flexible herramienta que proporcionará un control eficaz contra la Sigatoka con una carga química inferior a los fungicidas actuales.

Palabras clave: Sigatoka negra, Banano, Adavelt™ active, fitosanidad.

ABSTRACT

Adavelt™ active (florylpicoxamid), is a second generation picolinamide fungicide (FRAC group 21) from Corteva Agriscience for control of black Sigatoka disease (*Pseudocercospora fijiensis*) in banana. Adavelt™ has been evaluated in a series of field trials which were established in major banana producing countries within the Meso-Andean region such as Ecuador, Colombia, and Costa Rica. The results show outstanding activity of Adavelt™ against black sigatoka, superior to the tested reference products at the rate of 25 g ai ha⁻¹. Adavelt™ will offer banana growers an innovative and flexible tool which provides effective control against Sigatoka disease at a use rate lower than current fungicides.

Keywords: Black sigatoka, Banana, Adavelt™ active, phytosanity.



INTRODUCTION

The control of black Sigatoka, *Pseudocercospora fijiensis* (Phylum: Ascomycetus), is one of the most complex and important tasks in the production of the banana world. Black Sigatoka is a very aggressive disease, with a high level of pathogenicity and multiple fungicide applications are required throughout the year for crop protection. Currently, only a few chemical groups are available for disease management and resistance to existing fungicides has developed causing loss of control. Therefore, fungicides with new target sites of action offering improved control are needed for effective disease management programs. It is recommended to use fungicides in mixture and in rotation with other Modes of action within a spray program to reduce the selection pressure to widely used chemical groups. The picolinamide group, with its first representative fungicide Inatreq™ active (fenpicoxamid), is the newest group of fungicides used for sigatoka control. Inatreq™ active was launched on the market approximately 4 years ago, offering effective control and a favorable toxicological and environmental profile, thus meeting the demands of the market. However, Corteva Agriscience, in its continuous search for new and better alternatives, has developed a second generation picolinamide fungicide called florylpicoxamid, with the trademark Adavelt™ active, which offers improved activity coupled with a favorable environmental and toxicological profile.

Adavelt™ active is a preventive fungicide providing translaminar movement for uniform protection. It acts by inhibiting ubiquinone reductase inside (Qil) of the mitochondrial membrane at the level of complex III, acting at the level of respiration and it has been classified into the FRAC group 21 (<http://www.frac.info>). Adavelt™ active shows high activity at the low use rate of 25 grams of active ingredient per hectare, which confers lower chemical load per area and reduced risk of residues in fruit. It will be marketed under the trade name Emiox™ 10SC, formulated as a 100 g ai L⁻¹ SC (Suspension concentrate). It is currently in the process of registration globally and in our region in Ecuador, Colombia, Panama, Costa Rica, Guatemala and Mexico. The overall objective of the trials was to validate the efficacy of Adavelt™ active with respect to black Sigatoka in banana cultivation and to demonstrate its strengths and attributes.

MATERIALS AND METHODS

Study location. The efficacy of Adavelt™ active against black Sigatoka in banana cultivation has been evaluated for more than 8 years in a series of trials. Specifically,

this publication emphasizes ten trials established during the period 2020 - 2022, located in experimental stations in the most important banana producing areas of Costa Rica, Colombia and Ecuador (Guápiles, Urabá and Quevedo, respectively).

Description of the method (s) used. Fungicidal treatments were applied in plots or experimental units (size 144 – 225 m²) that included 5 plants, using an experimental design of randomized complete blocks with three or four replications.

Materials and equipment. The treatments were applied using an experimental equipment based on a motor pump with a Micronair AU-8000, to ensure uniformity in coverage and droplet size, with an application volume of 19 to 23 L ha⁻¹.

Measurement parameters: The treatments evaluated included an untreated control, Adavelt™ active at 25 g ai ha⁻¹ (250 mL of commercial product per hectare), Inatreq™ active at 50 g ai ha⁻¹ (385 mL CP ha⁻¹) and fenpropimorph at a rate of 616 to 880 g ai ha⁻¹ as a commercial reference treatment. A total of 8 consecutive applications at an interval of 8 days were conducted to evaluate the effectiveness of consecutive applications of Adavelt™ active compared to commercial references. All treatments were applied with mineral oil at the commercial dose (Costa Rica at 7 L ha⁻¹, Colombia and Ecuador at 7.57 L ha⁻¹). The trials were initiated when the plants had approximately 5 true leaves, with a similar physiological age, with average leaf emission of 7 days. Trials were established in rainy times under high disease pressure.

Analysis of the information obtained. After the applications, the percentage of infection of the treatments was evaluated, the evaluations included the leaves treated during the trial period. Five evaluations were performed at 15, 30, 45, 60 and 75 days after the first application (DDA1). The endpoint was the percentage of infection of the treatments based on the grades of the Stover Scale modified by Gauhl (1989). At the end of the applications, all evaluations were taken and the Area under the disease progress curve (AUDPC) was calculated, to see the behavior of the infection over time for each treatment. Data were submitted to analysis of variance and comparison of means using Tukey's ($\alpha = 0.05$). Additionally, the curative effect was evaluated, using a modified AFA methodology (affected foliar area, based on percentage of infection per leaf) that separates the level of initial stages of infection (S1-S4) from advanced or reproductive stages of infection (S5-S6).

RESULTS AND DISCUSSION

The incidence and severity of black Sigatoka at the time of the first application in the treated and untreated plots was "zero" or non-visible symptoms (according to Stover Scale modified by Gauhl), because we started with protection of new leaves (incubation period). The results of all the evaluations performed (15, 30, 45, 60 and 75 DDA1) and the variable of AUDPC (see Table 1), showed the same trend and evidenced the efficacy of Adavelt™ active on black Sigatoka, showing a performance equal to or better than commercial treatments, with a high pressure of the disease observed in the untreated (see Table 1). The Adavelt™ active showed very good control, with curative action at a dose of 25 g ai ha⁻¹, which confirmed its great fungicidal activity.

Table 1. Summary of ten efficacy trials including Adavelt™ active for the control of black Sigatoka in banana crop. Variable Area under disease progress curve (AUDPC).

#	Trial	Country	Year	Treatments	AUDPC	**
1	Adavelt 1	Costa Rica	2020	Adavelt 25 g ai	2000	cd
				Inatreq 50 g ai	2335	bc
				Fenpropimorph	2151	bcd
				UTD	2670	a
2	Adavelt 2	Colombia	2021	Adavelt 25 g ai	247	c
				Inatreq 50 g ai	459	b
				Fenpropimorph	343	bc
				UTD	973	a
3	Adavelt 3	Colombia	2021	Adavelt 25 g ai	354	bc
				Inatreq 50 g ai	537	b
				Fenpropimorph	304	bc
				UTD	1214	a
4	Adavelt 4	Colombia	2021	Adavelt 25 g ai	380	e
				Inatreq 50 g ai	762	bc
				Fenpropimorph	367	e
				UTD	903	a
5	Adavelt 5	Ecuador*	2021	Adavelt 25 g ai	781	ab
				Inatreq 50 g ai	831	b
				Fenpropimorph	772	ab
				UTD	1479	c
6	Adavelt 6	Ecuador*	2021	Adavelt 25 g ai	1162	f
				Inatreq 50 g ai	1361	de
				Fenpropimorph	1218	ef
				UTD	2371	a

7	Adavelt 7	Costa Rica	2021	Adavelt 25 g ai	895	bc
				Inatreq 50 g ai	1232	de
				Fenpropimorph	868	bc
				UTD	1945	a
8	Adavelt 8	Costa Rica	2021	Adavelt 25 g ai	2352	bc
				Inatreq 50 g ai	2458	de
				Fenpropimorph	2303	bc
				UTD	3062	a
9	Adavelt 9	Ecuador*	2022	Adavelt 25 g ai	1354	e
				Inatreq 50 g ai	1602	d
				Fenpropimorph	1315	e
				UTD	3158	a
10	Adavelt 10	Colombia	2022	Adavelt 25 g ai	154	c
				Inatreq 50 g ai	342	bc
				Fenpropimorph	156	c
				UTD	1006	a

* For table 1 and figure 1, Fenpropimorph doses for Ecuador 880 g ai ha⁻¹. ** For table 1 and figure 1 treatment means followed by the same letter do not differ statistically (P > 0.05).

In summary, the plots treated with Adavelt™ active at 25 g ai ha⁻¹ (250 mL CP ha⁻¹) showed excellent performance and consistency compared to Inatreq™ active and fenpropimorph for control of black sigatoka in banana cultivation.

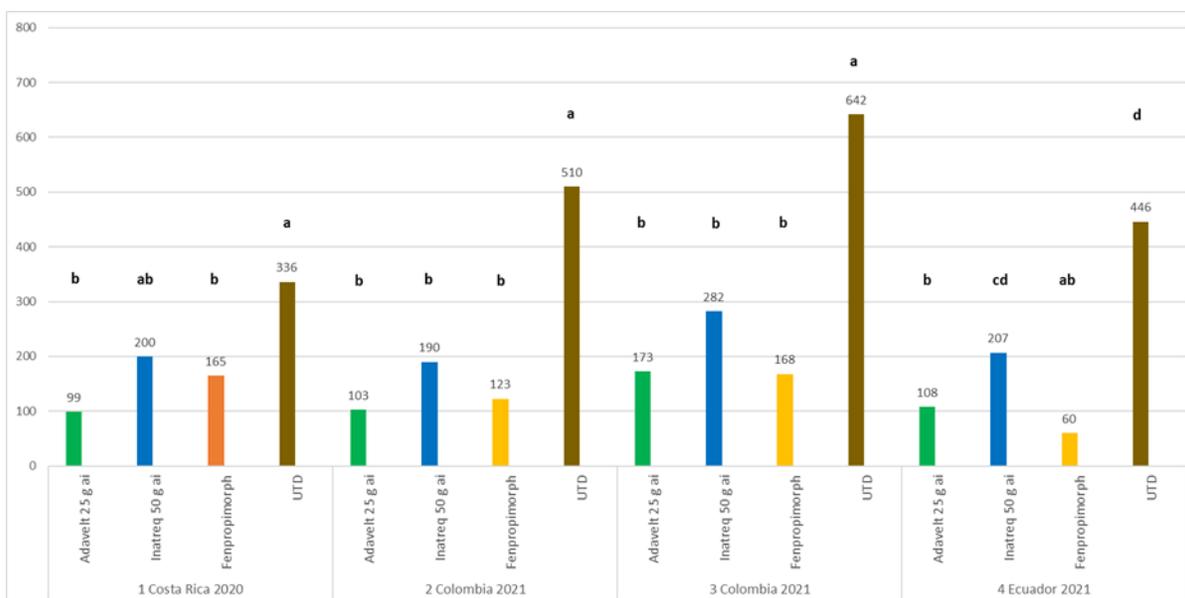


Figure 1. Summary of four efficacy trials including Adavelt™ active for the control of black Sigatoka in banana crop. Variable: AFA, curative level (Infection index: S5-S6).



Figure 2. Banana experimental site



Figure 3. Experimental plots



Figure 4. Untreated



Figure 5. Adavelt™ active efficacy

CONCLUSIONS

According to the results obtained, it is recommended to use Adavelt™ active at a dose of 25 g ai ha⁻¹ (250 mL CP ha⁻¹) for the control of black Sigatoka within a commercial program, at an application interval of 8 days. Adavelt™ active will have an excellent fit in disease management programs for bananas in rotation with other registered Modes of Action (MoA's). As a new effective rotation partner for the control of black Sigatoka in bananas, Adavelt™ active will help producers to control the disease with limited risk of residues in fruit and with low chemical load.

A maximum of three applications per year is recommended and preferably in mixture with a multi-site fungicide, or another fungicide providing effective disease control.

REFERENCIAS

1. Agrios G.N. 2017. Fitopatología: Enfermedades causadas por Ascomycetes y hongos imperfectos. InfoAgronomo. Recuperado el 21 de agosto 2023. 366 p. <https://infoagronomo.net/fitopatologia-gn-agrios-pdf/>
2. Croplife Latin America. Sigatoka Negra: Recuperado 21 de agosto 2023 <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/sigatoka-negra#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20Sigatoka%20negra,problema%20fitopatol%C3%B3gico%20en%20estos%20cultivos>
3. FRAC 2022. Code List: Recuperado el 21 agosto 2023. https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2
4. Hawksworth, D. 2016. The Amsterdam Declaration on fungal nomenclature. Technical University of Denmark.
5. Murillo J. E. 2015. Efecto de la sensibilidad de la *Mycosphaerella fijiensis* sobre la eficacia biológica de Fungicidas sistémicos utilizado contra la Sigatoka negra. Tesis Lic. ITCR Sede Regional San Carlos. CR.
6. Soto, Moisés 2014 “Banano I: Conceptos Básicos”. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago. Pág. 45.
7. Soto, Moisés 2015 “Banano II: Tecnologías de producción”. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago. Pág. 559

Efecto de programas de fungicidas para el manejo de sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*)

Luciano Martínez-Bolaños^{1*}, Jesús Humberto Arteaga-Gallegos²

¹Especialista en Fitosanidad Tropical. Unidad Regional Universitaria Sursureste. Universidad Autónoma Chapingo. San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco, México. ²SYNGENTA Agro S.A de C.V.

*Autor de

Correspondencia:

Luciano Martínez-Bolaños
lucianomtz@yahoo.com.m

x

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

06 Abril, 2024

Cita:

Martínez-Bolaños L y
Arteaga-Gallegos JH. 2024.

Efecto de programas de
fungicidas para el manejo

de sigatoka negra

(*Pseudocercospora*
fijiensis). *Acorbat Revista*

de *Tecnología y Ciencia*

1(1): 29

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2429

RESUMEN

El estudio se realizó en una plantación comercial de banano en Teapa, Tabasco, México, bajo un diseño experimental BCA, cuatro repeticiones y 10 plantas por unidad experimental. Se evaluaron cuatro programas con base a la aplicación semanal de fungicidas de origen natural: Taegro (*Bacillus amyloliquefaciens* cepa FZB24) y Timorex Gold (*Melaleuca alternifolia*) en rotación con sistémicos: Sico (difeconazol), Seeker (fepropidin) y Bankit (azoxystrobin), en contraste con un programa convencional y el testigo absoluto. Los programas mostraron plantas sanas, con bajo Promedio Ponderado de infección de la enfermedad (1.0), y plantas con mayor número de hojas libres de síntomas tanto estrías, manchas y quemas, los cuales fueron estadísticamente diferentes al testigo y similares al testigo comercial (Tukey, 0.05).

Palabras clave: *Pseudocercospora fijiensis*, Manejo Sostenible, Fitosanidad.

ABSTRACT

The study was carried out on banana commercial plantation in Teapa, Tabasco, Mexico, under a blocks random experimental design. Four programs were tested based on rotation systems with natural fungicides: Taegro (*Bacillus amyloliquefaciens* strain FZB24) and Timorex Gold (*Melaleuca alternifolia*) and systemic fungicides Sico (difeconazol), Seeker (fepropidin) and Bankit (azoxystrobin), in contrast with a conventional program of black spot Sigatoka management and the absolute control. The evaluated programs showed out healthy plants, with low pondered average of infection (1.0), and plants with more leaves healthy whit out symptoms of stretch marks, spots and burned, which was different to the control plants and similar to the plants under regional management (Tukey, 0.05). The use of innovative programs are alternative for the sustainable management of black Sigatoka in banana cultivation.

Keywords: *Pseudocercospora fijiensis*, sustainable management, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

La Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) es una enfermedad que afecta el follaje del cultivo de plátanos y bananos en el mundo, por lo cual se realizan aplicaciones de fungicidas tanto de acción sistémica como protectante; sin embargo, durante los últimos años se ha cuestionado el uso intensivo de estos plaguicidas por su impacto al ambiente y a la salud humana (Martínez *et al.*, 2012). En ese sentido, es necesario desarrollar programas inteligentes que permitan reducir el impacto de la Sigatoka negra y fomentar un manejo sostenible del cultivo de banano. Los objetivos del estudio fueron: a) Evaluar el programa de fungicidas Syngenta para el manejo de Sigatoka negra en el cultivo del banano; b) Comparar el programa Syngenta con el manejo comercial de la zona, y c) Evaluar posibles efectos fitotóxicos al cultivo

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una plantación comercial de bananos, grupo Cavendish c.v. Enano Gigante, en el estado de Tabasco, México. Durante el mes de agosto a septiembre del 2023 se evaluaron cuatro programas Syngenta para el manejo de la Sigatoka negra, además de un programa convencional y un testigo absoluto (Cuadro 1).

Diseño experimental. El estudio se realizó bajo un diseño experimental, Bloques completamente al azar con cuatro repeticiones; cada unidad experimental estuvo representada por una parcela de 40 m² (10m x 4m), y una densidad de 2500 por hectárea. El estudio se realizó en plantas jóvenes de 1.0 a 1.2 m de altura. Los tratamientos se aplicaron al follaje de manera semanal, con una bomba aspersora motorizada marca Forza Modelo 818025 25 L 1HP de dos tiempos y un volumen de 200 L ha⁻¹.

La evaluación de la incidencia y severidad de la sigatoka se realizó antes de la aplicación de los tratamientos y 7 días después de cada aplicación. El tamaño de muestra fueron 4 plantas por repetición. Las variables respuesta fueron: severidad de la enfermedad, hoja más joven con estría (HMJE), hoja más joven con mancha (HMJM), Hoja más joven con Quema (HMJQ), Número de hojas totales (NTH), y porcentaje de fitotoxicidad. La severidad de la Sigatoka negra se determinó con base a la escala propuesta por Stover (Stovet, 1974) modificada por Gahul modificada por Syngenta. Donde el grado asignado en la escala corresponde al daño causado por la Sigatoka negra en el follaje. Grado 0 = Hoja completamente limpia; 1 = < 25% del área

foliar con pizcas o estría; 2 = > 25% del área foliar con pizcas o estrías; 3 = < 5% del área foliar con manchas; 4 = 6 - 15 % del área foliar con manchas; 5 = 16 - 32 %; 6 = > 33 % . La severidad de la enfermedad se determinó mediante el Promedio ponderado de infección (PPI) con fórmula: $PPI = (\text{Porcentaje de hojas de cada grado} * \text{valor de cada grado en la escala}) / 100$.

Análisis estadístico. Los resultados de severidad de la enfermedad se sometieron a un análisis de varianza para determinar las diferencias entre tratamientos (ANOVA, $\alpha=0.05$). Posteriormente, se realizó una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio realizado en el cultivo del banano variedad enano gigante, durante los meses de agosto a septiembre del 2023, en el estado de Tabasco, región tropical húmeda, y principal zona productora de plátanos y bananos de México, muestran un efecto diferencial de los programas Syngenta aplicados en el cultivo de banano para el control de la Sigatoka negra (Tukey, 0.05) (Cuadro 1).

Efecto de programas en el Promedio Ponderado de Infección (PPI) de la Sigatoka negra

El promedio Ponderado de Infección inicial (**D0**) de la enfermedad, previo a la aplicación de los tratamientos, fluctuó entre 0.4 y 0.5 %. De igual forma, en la segunda y tercer evaluación realizada 7 y 14 días después de la primer aplicación de tratamientos (**D7 y D14**), las plantas de banano presentaron un promedio ponderado entre 0.4 y 0.7 %, los cuales no mostraron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey, 0.05). Los programa Syngenta incluyeron la aplicación del fungicida Sico (difeconazol) a 0.4 L ha⁻¹; mientras que en la segunda aplicación se basó en fungicidas bioracionales, como el fungicida Taegro (*B.amyloliquefasciens* FZB24) a 0.185 kg ha⁻¹, en el programa 2 y 4; y Timorex Gold (Aceite del árbol del té: *M. artemifolia*) a 0.500 L ha⁻¹ en el 3 y 5; en el testigo comercial se aplicó la molécula comercial de mancozeb

Cuadro 1. Programas para el control de Sigatoka negra en el cultivo del banano.

TMT	TAG	Tratamiento	Ingrediente Activo	Concentración (g ia/ L)	Dosis (g o mL f.p/ha)	Aceite (L/ha) + Emulsificante	
1	1	Testigo Absoluto					
	1	Sico	Difeconazol	250	400	4	
	2	Taegro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB24	130	185	4	
	2	3	Seeker	Fenpropidin	750	600	4
		4	Taegro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB24	130	185	4
		5	Bankit	Azoxystrobin	250	400	4
3	6	Taegro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB24	130	185	4	
	1	Sico	Difeconazol	250	400	4	
	2	Timorex Gold	<i>Melaleuca alternifolia</i>	233	500	4	
	3	Seeker	Fenpropidin	750	600	4	
	4	Timorex Gold	<i>Melaleuca alternifolia</i>	233	500	4	
	5	Bankit	Azoxystrobin	250	400	4	
4	6	Timorex Gold	<i>Melaleuca alternifolia</i>	233	500	4	
	1	Sico	Difeconazol	250	400	4	
	2	Taegro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB24	130	185	4	
	3	Seeker	Fenpropidin	750	600	4	
	4	Timorex Gold	<i>Melaleuca alternifolia</i>	233	500	4	
	5	Bankit	Azoxystrobin	250	400	4	
5	6	Taegro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB24	130	185	4	
	1	Sico	Difeconazol	250	400	4	
	2	Timorex Gold	<i>Melaleuca alternifolia</i>	233	500	4	
	3	Seeker	Fenpropidin	750	600	4	
	4	Taegro	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FZB24	130	185	4	
	5	Bankit	Azoxystrobin	250	400	4	
6	6	Timorex Gold	<i>Melaleuca alternifolia</i>	233	500	4	
	1	Folicur	Tebuconazole	250	400	4	
	2	Manzate 200 WP	Mancozeb	800	2000	Resina de pino	
	3	Manzate 200 WP	Mancozeb	800	2000	Resina de pino	
	4	Volley	Fenpropimorf	880	700	4	
	5	Manzate 200 WP	Mancozeb	800	2000	Resina de pino	
	6	Siganex	Pyrimetanil	600	500	4	

En la cuarta evaluación (**D21**) las plantas testigo presentaron un PPI de 1.2; mientras que las plantas bajo los diferentes programas de aplicación de fungicida presentaron un índice entre 0.6 y 0.8 %, los cuales fueron estadísticamente diferentes al testigo absoluto (Tukey, 0.05). Los programas Syngenta incluyeron el uso del

fungicida sistémico, Seeker (fenpropidin) a dosis de 0.750 L ha⁻¹. En la quinta evaluación (**D28**), las plantas de banano bajo los programas de fungicidas tanto sistémicos como protectantes, presentaron un PPI entre 0.7 y 0.9; mientras que el testigo absoluto presentó 1.3, estos resultados fueron diferentes estadísticamente al resto de tratamientos (Tukey, 0.05). La cuarta aplicación, se basó en fungicidas bioracionales, como el fungicida Taegro (*B. amyloliquefasciens* FZB24) a 0.185 kg ha⁻¹, en el programa 2 y 4; y Timorex Gold (Aceite del árbol del té (*M. artemifolia*) a 0.500 L ha⁻¹ en el 3 y 5. En la sexta evaluación (**D35**), realizada 35 DDA1, 28 DDA2, 21DDA3, 14 DDA4 y 7 DDA5, las plantas de banano bajo los programas de fungicidas presentaron plantas con PPI's de 0.8 (Cuadro 2), los cuales fueron estadísticamente diferentes a las plantas testigo que presentaron una severidad del 1.5 % (Tukey, 0.05). En la quinta aplicación, todos los programas Syngenta incluyeron al fungicida sistémico Bankit (Azoxystrobin) a 0.400 L ha⁻¹. En la séptima evaluación (**D42**) las plantas de banano presentaron PPI's con diferencias significativas entre tratamientos y el testigo absoluto, el cual presentó un índice del 2.2; mientras que las plantas de banano bajo programas Syngenta presentaron índices entre 1.0 y 1.1 (Cuadro 2). Los resultados fueron estadísticamente diferentes al testigo absoluto (Tukey 0.05). Los programas Syngenta 2 y 4 incluyeron la aplicación de fungicidas de origen natural: Taegro a 0.185 kg ha⁻¹; y Timorex Gold a 0.500 L ha⁻¹ en el programa 3 y 5.

Cuadro 2. Efecto de tratamientos en el Promedio Ponderado de Infección de la Sigatoka negra y Número Total de Hojas en el cultivo de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en el estado de Tabasco, México. 2023.

TM	Promedio Ponderado de Infección (PPI)							Número Total de Hojas (NTH)						
	D-0	D-7	D-14	D-21	D-28	D-35	D-42	D-0	D-7	D-14	D-21	D-28	D-35	D-42
1	0.5 a	0.5 a	0.7 a	1.2 a	1.3 a	1.5 a	2.2 a	7.5 a	7.6 a	7.1 a	8.8 a	8.8 a	8.5 b	9.6 b
2	0.4 a	0.4 a	0.5 a	0.7 b	0.9 b	0.8 b	1.1 b	7.3 a	7.3 a	7.7 a	8.7 a	9.3 a	9.7 a	10.7 a
3	0.4 a	0.4 a	0.5 a	0.6 b	0.7 b	0.8 b	1.1 b	7.5 a	7.4 a	7.8 a	8.8 a	8.8 a	9.8 a	10.6 a
4	0.4 a	0.4 a	0.5 a	0.8 b	0.8 b	0.8 b	1.0 b	7.5 a	7.4 a	7.8 a	8.9 a	9.3 a	10.2 a	10.9 a
5	0.4 a	0.4 a	0.5 a	0.8 b	0.7 b	0.8 b	1.0 b	7.8 a	7.9 a	7.4 a	8.7 a	9.1 a	9.8 a	10.6 a
6	0.5 a	0.5 a	0.5 a	0.7 b	0.8 b	0.8 b	1.1 b	7.5 a	7.8 a	7.8 a	9.0 a	9.1 a	9.9 a	10.8 a

*Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). D: Días después de la primera aplicación de fungicidas

Efecto de aplicación de fungicidas en el número total de hojas en el cultivo de banano

Las plantas de banano presentaron un comportamiento similar en el número total de hojas, durante las primeras cinco evaluaciones, las cuales se realizaron después de 4 aplicaciones semanales de los diferentes programas de fungicidas. Durante esta primera fase, las plantas de banano iniciaron entre 7.5 y 7.8 hojas por planta y cerraron con 8.8 a 9.3; sin embargo, a partir de la sexta evaluación, realizada 35 días después de la primera aplicación de fungicidas, se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, 0.05). En ese sentido, las plantas de banano testigo presentaron 8.5 hojas por planta, mientras que las plantas bajo los diferentes programas Syngenta de manejo de fungicidas contra Sigatoka, presentaron entre 9.7 y 10.2 hojas por planta (Cuadro 2). En la séptima evaluación, realizada 42 días después de la primera aplicación de fungicidas (42 DDA1, 35 DDA2, 28DDA3, 21 DDA4, 14 DDA5 y 7 DDA6) las plantas de banano bajo los programas Syngenta para el manejo de Sigatoka negra presentaron entre 10.6 a 10.9, mientras que el testigo absoluto presentó 9.6 hojas, las cuales fueron diferentes estadísticamente al resto de tratamientos (Tukey, 0.05).

Efecto de aplicación de fungicidas en la Hoja más Joven con Estrías en el cultivo de banano

Respecto a la hoja más joven con estrías, este inicio entre la hoja 5.0 y 5.3, y se mantuvo durante 7 días (D.7); sin embargo, a partir de la tercera evaluación (D-14), las plantas de banano mostraron diferencias significativas en la hoja más joven con estría, en ese sentido, las plantas tratadas con los fungicidas mostraron este síntoma entre la hoja más joven 5.0 y 5.2; las plantas testigo lo presentaron en la hoja 4.4, los cuales fueron estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). A partir de la cuarta evaluación (D-21), hasta la séptima evaluación (D-42), se presentaron diferencias significativas entre el testigo y el resto de tratamientos, los cuales mostraron la hoja más joven con estría entre la hoja 6.2 y 6.4, mientras que en las plantas testigo, se presentó en la hoja 4.5 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de tratamientos en el control Sigatoka negra sobre etapas evolutivas: Hoja más Joven con Estría y Hoja más Joven con Mancha en el cultivo de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en Teapa, Tabasco, México. 2023.

TMT	Hoja más Joven con Estría (HMJE)							Hoja más Joven con Mancha (HMJM)						
	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7	EV1	EV2	EV3	EV4	EV5	EV6	EV7
1	5.1 a	5.1 a	4.4 b	4.5 b	4.5 b	4.8 b	4.5 b	7.0 a	6.3 b	6.2 b	6.3 b	6.3 b	6.2 b	5.9 b
2	5.1 a	5.0 a	5.2 a	5.3 a	5.8 a	6.4 a	6.3 a	7.0 a	7.2 a	7.2 a	6.9 a	7.3 a	7.5 a	7.8 a
3	5.1 a	5.0 a	5.0 a	5.3 a	6.0 a	6.4 a	6.3 a	7.0 a	7.3 a	7.0 a	7.0 a	7.3 a	7.7 a	7.8 a
4	5.0 a	5.0 a	5.0 a	5.6 a	5.8 a	6.5 a	6.4 a	7.1 a	7.3 a	7.0 a	7.2 a	7.1 a	7.5 a	7.6 a
5	5.3 a	5.2 a	5.2 a	5.2 a	5.8 a	6.5 a	6.3 a	7.1 a	7.5 a	7.2 a	7.1 a	7.3 a	7.7 a	7.8 a
6	5.0 a	5.0 a	5.0 a	5.4 a	5.8 a	6.4 a	6.2 a	7.0 a	7.2 a	7.3 a	7.0 a	7.3 a	7.8 a	7.8 a

* Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05)

Efecto de aplicación de fungicidas en la hoja más joven con manchas en el cultivo de banano

Durante la primera evaluación realizada, no hubo diferencias entre las unidades experimentales de los tratamientos, por lo cual, el estudio inició en condiciones similares de presión de la enfermedad, y los primeros síntomas fueron en la hoja 7.0 y 7.1; sin embargo, con el avance del tiempo, se acentuaron los síntomas de la Sigatoka negra en las plantas de banano acorde a los programas de fungicidas aplicados, en especial, la ubicación de la hoja más joven con mancha. Así, en la evaluación 7 (D-42), realizada 42 días después de la primera aplicación de fungicidas, y seis aplicaciones semanales de fungicidas, las plantas presentaron la hoja más joven con mancha entre la hoja 7.6 y 7.8; mientras que las plantas testigo la presentaron en la hoja 5.9, las cuales fueron estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El estudio se realizó en la época de mayor presión de la enfermedad, donde se tuvieron precipitaciones acumuladas semanales desde 50 hasta 150 mm; y una acumulación de lluvia de 850 mm durante el periodo de estudio. Estas condiciones, junto a temperatura y humedad relativa alta, son propicias para el desarrollo asexual ó conidiogénica del *P. fijiensis*, en donde el hongo esporula desde las etapas evolutivas de mancha hasta las quemaduras de la Sigatoka negra, y genera mayor presión sobre el cultivo de banano.

Análisis de Fitotoxicidad. Las aplicaciones de los diferentes fungicidas no causaron daños o fitotoxicidad en el follaje de las plantas de banano durante el periodo de estudio y bajo las condiciones ambientales y cantidad de aplicaciones realizadas.

CONCLUSIONES

La aplicación de programas de manejo Syngenta con fungicidas de origen natural, como Taegro (*Bacillus amyloliquifaciens* FZB24) y Timorex Gold (*Melaleuca alternifolia*) en rotación con fungicidas sistémicos, como el Sico (difeconazol), Seeker (fepropidin) y Bankit (azoxystrobin), presentaron un buen control de la Sigatoka negra en el cultivo de banano, los cuales fueron estadísticamente diferentes al testigo absoluto y similares al testigo comercial regional.

Las dosis de los fungicidas aplicados para el control de Sigatoka negra, en períodos con alta precipitación, no causaron toxicidad en el cultivo de banano.

Los programas Syngenta muestran una alternativa viable para el manejo de la Sigatoka negra en el cultivo de banano, en zonas de alta presión de la enfermedad. Además, ofrecen una alternativa hacia un manejo sostenible de la Sigatoka negra.

REFERENCIAS

1. Martínez B. L., Teliz O. D., Rodríguez M. J.C., Mora A. J.A., Nieto Á. D., Cortés F. J. I., Mejía S. D., Nava D. C., Silva A. G. 2012. Resistencia a fungicidas en poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* del Sureste mexicano. *Agrociencia* 46:707-717
2. Stover, R. H. 1974. Effect of measured levels of Sigatoka disease of bananas on fruit quality and leaf senescence. *Tropical Agriculture* 51: 531-542.

Control of black leaf streak disease without mancozeb in commercial plantations of Ivory Coast

Luc de Lapeyre de Bellaire^{1*}; Antoine Wyvekens^{1,2}; Samuel Asara³; Mory Ouattara³; Aurélien Pugeaux³; Jean Carlier⁴; Christine Pagès⁴; Alain Normand⁵.

¹CIRAD, UPR GECO, F-34398 Montpellier, France; ²CIRAD, UPR GECO, Abidjan, Côte d'Ivoire; ³SCB, Abidjan, Côte d'Ivoire; ⁴CIRAD, UMR PHIM, Montpellier, France; ⁵Compagnie fruitière, Marseille, France.

*Autor de

Correspondencia:

Luc de Lapeyre de Bellaire
luc.de_lapeyre@cirad.fr

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

de Bellaire LL, Wyvekens A, Asara S, Ouattara M, Pugeaux A, Carlier J, Pagès C and Normand A. 2024. Control of black leaf streak disease without mancozeb in commercial plantations of Ivory Coast. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 30
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2430>

RESUMEN

La Sigatoka Negra es el principal reto de la industria bananera, ya que el control de esta enfermedad es crucial para la exportación de banano. En la mayoría de los países el control de la SN se basa en aplicaciones semanales de fungicidas de contacto (mancozeb). Sin embargo, las limitaciones regulatorias del uso de ditiocarbamatos en la UE podrían bloquear el uso de este fungicida a muy corto plazo. Hemos evaluado nuevas estrategias excluyendo mancozeb en zonas húmedas de Costa de Marfil donde la resistencia a la mayoría de los fungicidas sistémicos está establecida. Esta estrategia se basa en observaciones semanales de los parámetros biológicos de la enfermedad para fundamentar las decisiones y en un uso más amplio del aceite mineral y de los fungicidas IBS del grupo 2. En las condiciones de esta evaluación, esta estrategia es mucho mejor en términos de rendimiento medioambiental y es al menos tan eficaz para el control de la enfermedad como la estrategia convencional basada en el uso de mancozeb, por lo que sigue siendo prometedora.

Palabras clave: *Pseudocercospora fijiensis*, preaviso biológico, Costa de Marfil, eliminación del mancozeb, Fitosanidad.

ABSTRACT

BLSD is the main challenge in the banana industry since the control of this fungal disease is crucial for banana exportation. In most countries, BLSD control relies on weekly applications of contact fungicides as mancozeb. Regulatory limitations of dithiocarbamates in the EU might soon block the use of this fungicide. Here we have evaluated new strategies excluding mancozeb in humid areas of Ivory Coast where fungicide resistance to most systemic fungicides is established. This strategy relies on weekly observations of biological disease parameters to inform decisions and on a wider use of mineral oil and fungicides from the SBI group 2. This strategy is better in terms of environmental performance and as performant for disease control as the conventional strategy based on mancozeb.

Keywords: *Pseudocercospora fijiensis*, forecasting strategy, Ivory coast, elimination of mancozeb, phytosanity.



INTRODUCTION

Black Leaf Streak Disease (BLSD) is a foliar disease of bananas caused by the ascomycetous fungi *Pseudocercospora fijiensis*. The disease is responsible for leaf spotting and reduces the photosynthetic area of bananas and by so might induce important yield losses up to 30% if not controlled (Mobambo et al., 1996). However, as long as 5-7 leaves are present at harvest, very few yield damages are expected (Vargas et al., 2009; Lassois et al., 2010), which is generally the case in most commercial banana plantations. Moreover, leaf spot disease of bananas (Yellow Sigatoka and BLSD) severely affect fruit conservation (Castelan et al., 2012; Castelan et al., 2013) and cause premature ripening that might prevent banana exportations or cause important commercial damages. For this reason, Black leaf streak disease is the most important threat to the banana industry (de Lapeyre de Bellaire et al., 2010) and requires important chemical treatments. In most tropical humid countries, chemical control relies on a massive use of mancozeb (Marin et al., 2003; Guzman et al., 2018) that is mostly used in a systematic strategy consisting in weekly applications in order to protect new leaves with this protectant fungicide. However, those strategies are not sustainable for technical, environmental, economic and regulatory reasons (de Lapeyre et al., 2009). Indeed, mancozeb has been banned in the EU in 2021 (Anonymous, 2020). From all fungicides of the dithiocarbamate group (thiram, propineb, maneb, ziram, metiram for which the same MRL should apply because of lack of specificity of detection methods), metiram is the only one authorized in UE having a MRL of 2 ppm. However, the MRL for mancozeb should be revised soon in the next year questioning on further use of this fungicide (and all contact fungicides of the dithiocarbamate group) for BLSD control. In this context it is vital to develop strategies excluding this contact fungicide.

BLSD has been detected for the first time in Ivory Coast in 1985 (Mourichon & Fullerton, 1990) and has replaced Sigatoka Disease in all banana commercial plantations in a about 10 years. At the beginning, only 14-16 applications of systemic fungicides (DMI, BMC and QoI) were used for BLSD control using a forecasting strategy (Fouré & Ganry, 2008). However, by 2008 the emergence of fungicide resistance to many products has led to a more important use of contact fungicides from which mancozeb was the mostly used (de Lapeyre de Bellaire 2008, 2013, 2017, 2018, Comm. Pers.).

The purpose of the work presented here has been to develop a new strategy excluding the use of mancozeb in commercial banana plantations where fungicide resistance was established. Effectively, forecasting strategies rely mainly on the use of

systemic fungicides with high curative effect and the adaptation of this strategy in these conditions remains challenging. A forecasting strategy had been adapted in the dry tropical conditions of the Dominican Republic where fungicide resistance was established (Guillermé et al., 2014). However, the situation of larger plantations of Ivory Coast with a more humid climate (1500 mm/year versus 400 mm/year) requires other adaptations.

MATERIALS AND METHODS

Commercial farm selected. In 2020, a banana company of Ivory Coast decided to develop a partnership with Cirad to reduce fungicide use and specifically to find alternatives to mancozeb in order to anticipate upcoming regulatory issues. After several trials at small scale, two farms were selected to compare the conventional strategy based on mancozeb (farm 1) to a new strategy without mancozeb (farm 2). Farm 1 (473 ha) was joined with farm 2 (364 ha). Annual rainfall in both places is 1450 mm.

Evaluation of fungicide resistance. Fungicide resistance was evaluated in the two farms at two periods in 2019 and 2022. In each farm a fixed plot has been selected in the centre of the farm and samples were always collected in this plot. In each plot 30 plants were selected in various places of the plot and 30 pieces of leaves (25 cm x 25 cm) bearing stage 2-3 lesions of BLSA according to Fouré's scale (Fouré, 1988) were sampled and brought to the laboratory in order to isolate a population of 40 strains. Each strain was initiated from single conidia. For each lesion one single isolate has been selected and a maximum of 2 strains per leaf were selected in the final population. The evaluation of fungicide resistance was made from mycelial growth inhibition by spectroscopic optical densities measurements inspired from Chong et al. (2021). The population of 40 strains was grown under PDA for 10 days before growth inhibition measurements. A small colony of each strain was crushed to form a mycelial suspension used for further inoculations of liquid media. Mycelial growth was evaluated after 7 days incubation at 25°C in microplates in a liquid PBD medium amended or not with different concentrations of fungicides. For each fungicide, mycelial growth was evaluated on a broad range of active ingredient concentrations to estimate EC50. Optical densities measurements were made with a Tecan microplate reader at 690 nm.

For DMI fungicides, EC50 were assessed for propiconazole and difenoconazole. The range of concentration used was: 0; 0,004; 0,016; 0,04; 0,16; 0,64; 2,56 and 10,24 mg L⁻¹. For each strain an EC 50 has been assessed and the mean EC50 of the population was compared to mean EC 50 of a fungal population never exposed to fungicides (reference population) in order to calculate a resistance factor of the population RF as Average EC50 plantation/Average EC50 of reference population.

For MBC fungicide we used thiabendazole at 0; 0,1; 1; 10; 100 mg L⁻¹. Susceptible strains never grew over 1 mg L⁻¹. Each strain could be identified as resistant or susceptible and a percentage of resistant strain was calculated for each population analysed. For QoI fungicide we used azoxystrobin at 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 100 mg L⁻¹. Resistant strains grew up to 10-100 mg L⁻¹. Each strain could be identified as resistant or susceptible and a percentage of resistant strain was calculated for each population analysed.

Disease monitoring, strategy of decisions and fungicide applications. Each week various disease parameters were assessed in order to get all the biological information needed for biological forecasting system developed at Cirad (Fouré and Ganry, 2008). In each farm 10 plants were selected on a plot and monitored every week until flowering. Data were collected every week on 16 plots in farm 1 and 14 plots in farm 2.

The biological information consisted in:

- SED as calculated from all symptoms observed in leaves 2 to 4 and leaf foliar emission as proposed in Fouré and Ganry, 2008.
- YLSt, the youngest leaf bearing streaks has been assessed as proposed in de Lapeyre de Bellaire et al., 2010. YLSt is an estimation of incubation period and is useful to understand epidemic conditions.
- YLS, the youngest leaf spotted has been assessed as proposed in de Lapeyre de Bellaire et al., 2010. YLS is an estimation of total epidemic cycle duration and its evolution is a balance between leaf emission and disease growth which is useful to understand efficiency of control.
- NLH, the number of leaves at harvest was evaluated on 20 banana plants bearing a bunch ready for harvest as proposed in de Lapeyre de Bellaire et al., 2010.
- NLF was evaluated on 20 banana plants just flowering a new flower bunch like for NLH.
- Density score was the sum of all occurrence of large intensities of inoculum: i.e., more than 50 lesions observed on a leaf during SED assessment as scored by a +

notation in Fouré and Ganry, 2008. This score reaches a maximum value of 30 for observations in leaves 2, 3, and 4 on 10 plants.

Each week, decisions were taken according to graphical reporting of all disease parameters. In Farm 1, the conventional strategy program relied on almost weekly applications of mancozeb in alternation with some systemic fungicides mainly used in the rainy season. Decisions were made by the company itself. In farm 2, decisions were discussed between Cirad and the company. Only some systemic fungicides (DMI, QoI, MBS) could be applied according to the results of sensitivity tests. The strategy included also the use of mineral alone (12 l/ha) that has a light curative effect generally inferior to two weeks (Guyot & Cuillé, 1955; Delatouche et al., 2023) and also the use of Sterol biosynthesis Inhibitors of group 2 (morpholines, amines, spiroketalamines). The evolution of SED, YLSt and density score was particularly followed to decide application of systemic fungicides or mineral oil. Applications were always separated at least by two weeks. The evolution of YLS was monitored to evaluate the efficiency of the strategy. All fungicide applications in a farm were realised the same day with an airplane.

Evaluation of the performance of the strategy. Various parameters have been established for the whole duration of the year to compare the performance of both strategies:

- The limitation of disease symptoms in the top of the canopy. This was assessed as the limitation of SED below 1500. For all observations made on the 16 (farm 1) or 14 (farm 2) plots over the 52 weeks of the year we have summed the occurrence of SED values > 1500.
- The limitation of large densities of inoculum. This was assessed from the density score value obtained from SED measurements. For all observations made on the 16 (farm 1) or 14 (farm 2) plots over the 52 weeks of the year we have summed the occurrence of density score values > 10.
- The limitation of bunches with very few leaves. For all observations made on the 16 (farm 1) or 14 (farm 2) plots over the 52 weeks of the year we have summed the occurrence of average NLH <3.
- The limitation of risky bunches. In the farms, a specific tracking of risky bunches was made at field level before harvest. A risky bunch is harvested on plants reaching harvest stage with less than 3 functional leaves. According to company criteria, a functional leaf is a leaf bearing more than 1/3 green area. All risky bunches are counted in packing stations and a percentage ok risky bunches has been calculated on each farm for all the year. This data is very important and

discriminatory because it is assessed over all banana bunches harvested on the farms.

- An Index of Treatment Frequency (ITF) calculated as the sum of all fungicide reference rates used /ha/year. For each fungicide the rate has been compared to a reference rate. The ITF has been calculated for each fungicide application taking into account that in the case of mixture of two active ingredients, the ITF value takes into account both fungicides. The annual value is the sum for all fungicides applied.
- The quantity of active ingredient of fungicides used/ha/year
- The total number of aerial application or cycle.

RESULTS AND DISCUSSION

Fungicide resistance. In 2019, only a moderate shift of sensitivity to DMI fungicides was noticed on both farms with low Resistance Factors < 20 (Table 1). No resistance to QoI fungicides was noticed and only a small proportion of strains resistant to MBC fungicide could be noticed in farm 2. In 2022, an important proportion of strains resistant to QoI fungicides could be noticed on both farms and those fungicides are not used since the end of 2022 in both farms. No resistant strains to MBC were observed in both farms. Those fungicides are not used for many years and it has been proposed to use them again at the end of year 2022 (1 to 2 applications/year) even if possible low level of resistance could have been reported in the past. The sensitivity shift to DMI fungicides was more pronounced in 2022 with RF to difenoconazole > 100. DMI were not used more than twice a year and only mixed with SBI of group 2.

Table 1. Sensitivity to different groups of systemic fungicides assessed in 2022 in farm 1 and farm 2.

Fungicide	Farm 1			
	2019	Farm 2 2019	Farm 1 2022	Farm 2 2022
% resistance to MBC	0	3%	0	0
% resistance to QoI	0	0	28%	23%
Resistance Factor to Propiconazole	20	13	71	42
Resistance Factor to Difenoconazole	14	9	133	121

Those results limit the use of DMI fungicides which are the most effective for BLSD control. From these results, control should rely on a combination of mineral oil,

SBI fungicides of group 2, a strong limitation of DMI fungicides, a possible limited use of MBC.

Performance of the strategies. In terms of chemical use both strategies were strongly different. The use of fungicides was more intensive in the conventional strategy displayed in farm 1 as shown by ITF values that were reduced by 34% in farm 2 (20 in farm 2 versus 30,4 in farm 1, Table 2). These differences are mainly due to the fact that fewer aerial applications were made in farm 2 (25 versus 38 in farm 1, table 3) and also because of more numerous mineral oil applications without fungicide were applied in the strategy without mancozeb (figures 1 and 2). Considering the quantity of active substance/ha/year the difference between both strategies is wider because 76% reduction could be achieved in the strategy without mancozeb (6,7 kg/ha/year in farm 2 versus 27,8 kg/ha/year in farm 1, table 2). This difference is mainly due to the fact that mancozeb treatments require generally about 1kg ai/ha/treatment and weekly applications. Then the elimination of mancozeb significantly reduces chemical load.

Table 2. Comparison of the conventional strategy with mancozeb performed on farm 1 (473 ha) and the strategy excluding mancozeb on farm 2 (364 ha) during all the year 2022. Disease data were collected weekly over 16 plots in farm 1 and 14 plots in farm2.

Evaluation of the strategy	Conventional strategy with mancozeb (farm1)	Strategy excluding mancozeb (farm2)
^a Occurrences of SED > 1500	61/833 7,32 %	70/728 9,62%
^b Occurrences with densities >10	7/833 0,84%	13/728 1,79%
^c Occurrences with NLH < 3	121/833 14,5%	26/728 3,54%
^d Risky bunches	31435/2172615 1,47%	2716/1605619 0.17%
^e ITF	30.4	20
^f kg a.i./ha/year	27.8	6.7
^g Number of cycles	38	25

^aumber of weekly data with SED > 1500; ^b Number of weekly observations with more than 10 observations showing a high density of lesions; ^c Number of weekly observations with an average value of NLH < 3; ^d Number of bunches harvested and tagged as risky over the year 2022. A risky bunch had less than 3 functional leaves (a functional leaf had at least 1/3 of green area); ^e Sum of reference rates of all fungicides used / ha /year; ^f Sum of active ingredients of fungicides used per ha/year; ^g Number of plane applications per year.

The prevalence of high leaf infection was slightly higher in the strategy without mancozeb as shown by the occurrence of SED > 1500 (9,6% in farm 2 versus 7,3% in farm 1, table 3) and by the occurrence of density scores > 10 (1,8% in farm 2 versus 0,8% in farm 1, table 3). However, the performance in terms of number of leaves at

harvest and risky bunches was better in the strategy without mancozeb as shown by the occurrence of NLH < 3 (3.5% in farm 2 versus 14,3% in farm 1) and the percentage of risky bunches (0,17% in farm 2 versus 1,47% in farm 1). This result shows that there is not a direct correlation between leaf infection and leaf reduction which is probably the consequence of using more curative products in the strategy without mancozeb (SBI of group 2 and mineral oil).

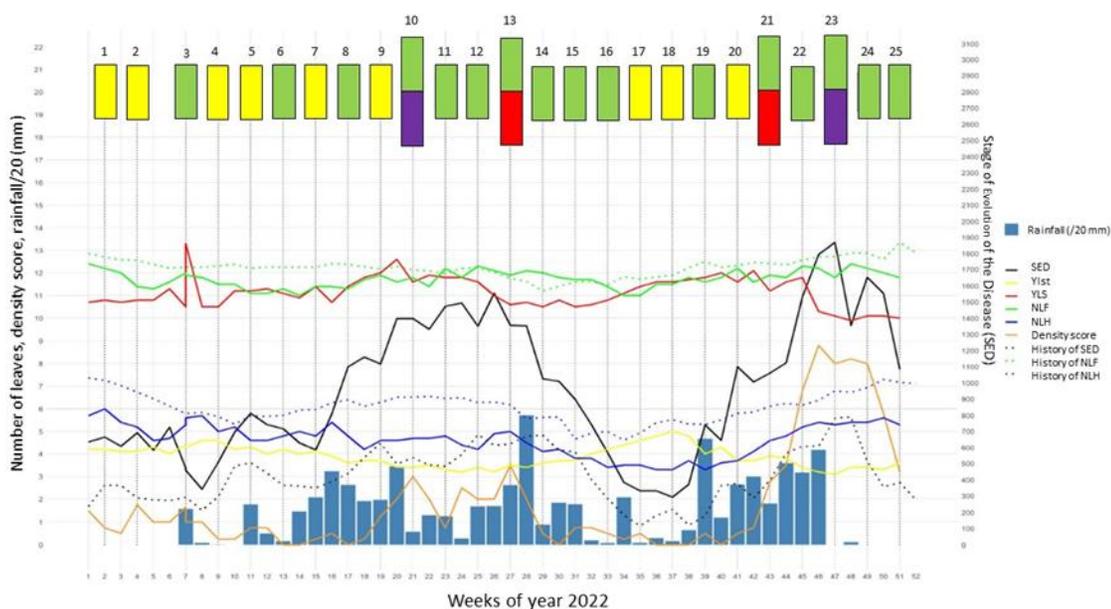


Figure 1. Weekly evolution of disease parameter in the strategy without mancozeb in farm 2. Average values of 14 plots. Treatments are indicated with bars: yellow mineral oil; green: SBI of group 2 (morpholine); red: DMI; Purple: QoI. The number of spray cycle in the year is indicated over the bars.

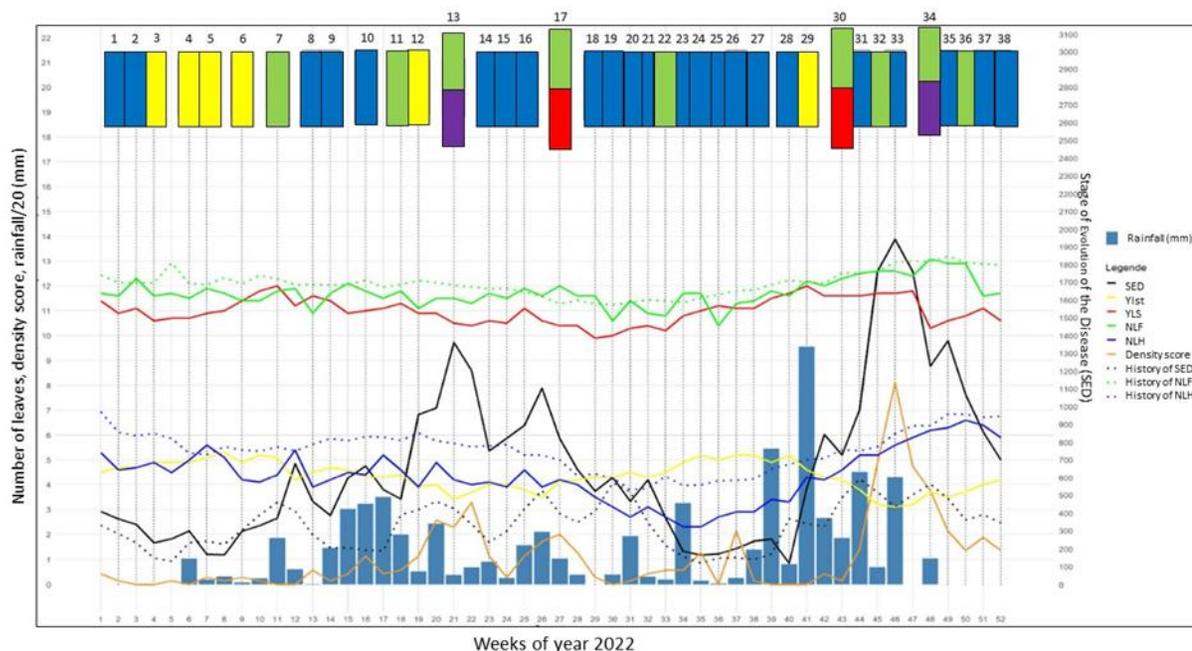


Figure 2. Weekly evolution of disease parameter in the conventional strategy with mancozeb in farm 1. Average values of 16 plots. Treatments are indicated with bars: blue: mancozeb; yellow mineral oil; green: SBI of group 2 (morpholine); red: DMI; Purple: QoI. The number of spray cycle in the year is indicated over the bars.

CONCLUSIONES

The evaluation of alternative strategies excluding mancozeb use has been satisfactory during a whole year season in conditions with established resistance to most systemic fungicides, particularly the most curative ones, the DMI. This strategy relies on weekly monitoring of biological information, decisions made on this biological information, broader use of mineral oil alone and SBI group 2 fungicides. The performance of such strategy is very good in terms of environmental impact since 75% reduction in chemical load has been achieved. This reduction does not alter crop losses because risky bunches as well occurrence of bunches harvested with few leaves were not more important and were even less frequent. From these results such strategy is now carried over more than 3000 ha and in the future the challenge will be to reduce the number of SBI group 2 treatments introducing more mineral oil applications and new groups of fungicides (pyrimidins, dodine, MBC). Indeed, even if the develop of resistant strains to SBI group 2 fungicides is unlikely, this risk should be mitigated.

REFERENCIAS

1. Anonymous, 2020. Commission Implementing regulation (EU) 2020/2087 of 14 December 2020 concerning the non-renewal of the approval of the active substance mancozeb, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011. Official Journal of the European Union.
2. Castelan, F.P., L.A. Saraiva, F. Lange, L. de Lapeyre de Bellaire, B.R. Cordenunsi and M. Chillet. 2012. Effects of Black Leaf Streak Disease and Sigatoka Disease on fruit quality and maturation process of bananas produced in the subtropical conditions of southern Brazil. *Crop Protection* 35: 127-131.
3. Castelan, F.P., C. Abadie, O. Hubert, Y. Chilin-Charles, L. de Lapeyre de Bellaire and M. Chillet. 2013. Relation between the severity of Sigatoka disease and banana quality characterized by pomological traits and fruit green life. *Crop Protection* 50: 61-65.
4. Chong P., Ngando Essoh J., Arango R., Keizer L. C. P., Stergiopoulos I., Seidl M.F., Guzman M., Sandoval J., Verweij P.E., Scalliet G., Sierotzski H., de Lapeyre de Bellaire L., Crous P.W., Carlier J., Cros S., Meijer H.J.G., Peralta E.L., Kema G.H.J. 2021. Out of control: reduced sensitivity to azole fungicides in the black Sigatoka pathogen *Pseudocercospora fijiensis* threatens global banana production, *Pest Management Science*, 77, 3273-3288
5. de Lapeyre de Bellaire L., Fouré E., Abadie C., Carlier J. 2010. Black Leaf Streak Disease is challenging the banana industry. *Fruits* 65: 327-342.
6. de Lapeyre de Bellaire, L., J. Essoh Ngando, C. Abadie, C. Chabrier, R. Blanco, T. Lescot, et al. 2009. Is chemical control of *Mycosphaerella* foliar diseases of bananas sustainable? *Acta Horticulturae* 828: 161-170.
7. Delatouche L., de Lapeyre de Bellaire L., Tixier P. 2023. [Disentangling the factors affecting the dynamic of *Pseudocercospora fijiensis*: quantification of weather, fungicide and landscape effects.](#) *Phytopathology*, 113, 31-43
8. Fouré, E. and J. Ganry. 2008. A biological forecasting system to control Black Leaf Streak disease of bananas and plantains. *Fruits* 63: 311-317.
9. Fouré, E. 1988. Stratégies de lutte contre la cercosporiose noire des bananiers et des plantains provoquée par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. L'avertissement biologique au Cameroun. Evaluation des possibilités d'amélioration. *Fruits* 43: 269-274.
10. Guillermet, C., R. Le Guen, E. Foure, C. Cespedes and L. de Lapeyre de Bellaire. 2014. Adaptation of the forecasting system to control Black Leaf Streak Disease of banana in the specific conditions of Dominican Republic. *Fruits* 69: 261-278.
11. Guyot, H. and Cuillé.J. 1955. Les traitements fongicides des bananeraies. II/ efficacité des différents modes de traitements, rôle de l'huile. *Fruits* 10: 101-107.
12. Guzmán M., Pérez-Vicente L., Carlier J., Abadie C., de Lapeyre de Bellaire L., Carreel F., Marín D.H., Romero R.A., Gauhl F., Pasberg-Gauhl C., Jones D.R. 2018. Black Leaf Streak. In : (Jones D.R. ed) *Diseases of Banana, Abaca and Enset*. 2nd edition, CABI, Wallingford, 41-115
13. Lassois L., Bastiaanse H., Chillet M., Jullien A., Jijakli M.H., de Lapeyre de Bellaire L. 2010. Hand position on the bunch and source-sink ratio influence the level of banana fruit susceptibility to crown rot disease. *Annals of Applied Biology*, 156 (2), 221-229
14. Marin, D.H., R.A. Romero, M. Guzman and T.B. Sutton. 2003. Black Sigatoka : an increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease* 87: 208-222.

15. Mobambo, K.N., F. Gauhl, R. Swennen and C. PasbergGauhl. 1996. Assessment of the cropping cycle effects on black leaf streak severity and yield decline of plantain and plantain hybrids. *International Journal of Pest Management* 42: 1-7.
16. Mourichon, X. and R.A. Fullerton. 1990. Geographical distribution of the two species *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercospora musae*) and *M. fijiensis* Morelet (*C. fijiensis*), respectively agents of Sigatoka disease and Black Leaf Streak disease in bananas and plantains. *Fruits* 45: 213-218.
17. Vargas, A., M. Araya, M. Guzman and G. Murillo. 2009. Effect of leaf pruning at flower emergence of banana plants (Musa AAA) on fruit yield and black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) disease. *International Journal of Pest management* 55: 19-25.

Efectividad de estrategias biorracionales con alternativas al mancozeb para el combate de sigatoka negra en el cultivo de banano

María Alejandra Bolaños-Barrientos¹; Xavier Andrés Ríos-Flores¹; Luis Fernando Benavides-López^{2*}; Juan Delgado-Fernández²

¹Estudiantes de Universidad EARTH. Las Mercedes, Guácimo, Limón, Costa Rica; ²Departamento de Investigación LIFE-RID Amvac Latam. Muelle, San Carlos, Alajuela, Costa Rica.

*Autor de

Correspondencia:

Luis Fernando Benavides-
López
lbenavides@life-rid.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Bolaños-Barrientos MA,
Ríos-Flores XA, Benavides-
López LF y Delgado-
Fernández J. 2024.

Efectividad de estrategias
biorracionales con
alternativas al mancozeb
para el combate de sigatoka
negra en el cultivo de
banano. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
31
<https://doi.org/10.62498/AR-TC.2431>

RESUMEN

Se evaluaron fungicidas biorracionales como alternativas al mancozeb (control=99,9%) en banano. Las alternativas protectantes de nutriprotector, azufre, cúprico, y botánico tuvieron un control del 99,8, 98, 95 y 94% respectivamente a los 50 días después de la aplicación en las hojas candelas. La estrategia de fraccionar la dosis de ácido salicílico con N a 0,5 L ha⁻¹ cada 15 días (inductor de resistencia) en tendencia presentó un mayor efecto de control sobre la enfermedad. Estas herramientas al ser integradas en programas de combate de la enfermedad alcanzaron una reducción de mancozeb del 50% hasta el 100% con niveles de control similares al programa de control de la enfermedad convencional de mancozeb en el cultivo de banano.

Palabras clave: Sigatoka negra, *Musa* spp, mancozeb, alternativas biorracionales, fitosanidad.

ABSTRACT

Biorational fungicides were evaluated as alternatives to mancozeb (control=99.9%) in banana. The protective alternatives of nutriprotector, sulfur, cupric, and botanical had a control of 99.8%, 98%, 95% and 94% respectively at 50 days after application on the “cigar” leaves. The strategy of dividing the dose of salicylic acid with N at 0.5 L ha⁻¹ every 15 days (resistance inducer) tended to have a greater effect on the control of the disease. These tools, when integrated into disease control programs, achieved a reduction of mancozeb from 50% to 100% with control levels similar to conventional disease control programs of mancozeb in banana cultivation.

Keywords: Black Sigatoka, *Musa* spp, Mancozeb, biorational alternatives, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El patógeno *Pseudocercospora fijiensis* es el agente causal de la enfermedad foliar Sigatoka negra (SN) en los cultivares de banano susceptibles (Crous *et al.*, 2016). Para expresar su agresividad la SN requiere de condiciones climáticas favorables (lluvia > 1400 mm, HR > 80% y 23°C a 28°C en temperatura) necesarias para sus procesos de infección por las ascosporas y conidios a través de los estomas (Benavides-López, 2022; Churchill, 2011; Crous *et al.*, 2016). La enfermedad afecta significativamente procesos fotosintéticos a nivel foliar en la planta y consecuentemente compromete la floración, la cosecha y ocasiona reducciones en la vida verde del fruto (Hidalgo *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2011). Para la protección del cultivo, los programas se derivan de la aplicación frecuente de fungicidas multisitio, con mancozeb (Mzb) y clorotalonil (CL) como ingredientes activos, además de la integración de fungicidas sitioespecífico en combinación de Mzb para el manejo de resistencia. Estos fungicidas han sido históricamente utilizados, sin embargo, dado su posible efecto a la salud y el ambiente están siendo cuestionados en la Unión Europea (UE) desde 2020, y hay presión social y política para que se dé la salida de estos ingredientes activos, ejemplo de esto la no renovación del registro de clorotalonil y posiblemente con mancozeb suceda lo mismo (Anastassiadou *et al.*, 2020). Por lo tanto, ante lo anterior en los últimos cinco años se han realizado esfuerzos de investigación, innovación y desarrollo de alternativas para el control de SN, entre los cuales extractos botánicos, productos biológicos, compuestos inductores de resistencia y formulaciones a base de cobre, azufre, zinc y sus combinaciones, sustancias reportadas en Frac (2021) para el combate de patógenos (Becker *et al.*, 2021). Lo anterior, hace necesario evaluar alternativas para el control de SN que permita reemplazar el uso de mancozeb en el cultivo de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en dos localidades de Costa Rica, en parcelas experimentales con plantas de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) variedad 'Gran Enano' de 10 semanas de edad, sembradas bajo una densidad de 1600 plantas ha⁻¹ y bajo el manejo cultural del cultivo. En la primera localidad se realizaron los experimentos 1, 2 y 3 en la Estación Experimental LIFE-RID (AMVAC) ubicada en Muelle de San Carlos, en la provincia de Alajuela y en la segunda localidad se realizaron los experimentos 4 y 5 en las parcelas de banano de la Universidad EARTH ubicadas en las Mercedes de

Guácimo de la provincia de Limón, con condiciones de clima muy favorables para SN en ambos sitios. Este trabajo fue realizado en cinco experimentos.

Experimento 1 y 2. Evaluación de fungicidas biorracionales alternativos al mancozeb. En el **experimento 1** se evaluaron seis tratamientos desde semana 12 hasta semana 20 del 2022: **1)** Cúprico (óxido cuproso + óxido de zinc; $0,6 \text{ kg ha}^{-1} = 360 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **2)** Azufre (azufre orgánico; $1,0 \text{ L ha}^{-1} = 700 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **3)** Botánico (*Melaleuca alternifolia*; $0,4 \text{ L ha}^{-1} = 89 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **4)** Mancozeb 62 SC (Mzb; $2,0 \text{ L ha}^{-1} = 1240 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **5)** Aceite + Adyuvante (aceite parafínico = $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos grasos = $0,5 \text{ L ha}^{-1}$) y **6)** Testigo sin aplicación. En el **experimento 2** fueron cinco los tratamientos evaluados desde semana 48 del 2022 hasta semana 5 del 2023: **1)** Nutriprotector (azufre + cobre; $3,0 \text{ L ha}^{-1} = 555 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **2)** Azufre (azufre orgánico; $1,0 \text{ L ha}^{-1} = 700 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **3)** Mancozeb (Mzb; $2,0 \text{ L ha}^{-1} = 1240 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **4)** Aceite + adyuvante (aceite parafínico = $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos grasos = $0,5 \text{ L ha}^{-1}$) y **5)** Testigo sin aplicación. Las mezclas de los tratamientos fueron preparadas en 1 litro y dosificadas a un volumen total de 22 L ha^{-1} , con el siguiente orden de mezclado: 50% agua, 100% adyuvante, 100% aceite, 100% fungicida y 50% agua, con agitación por 5 minutos a 2000 rpm para cada ingrediente de la mezcla. Los tratamientos fueron aplicados con la misma dosis de aceite y adyuvante en un solo momento con un equipo de aspersión manual de presión constante (40 PSI) con boquilla cono hueco, únicamente sobre las hojas candelas (apertura 0,2 y 0,4). Desde los 14 hasta los 50 días después de iniciado (DDI) se realizaron evaluaciones visuales semanales del porcentaje de área foliar afectada por SN (%AFA) en cada tratamiento.

Experimento 3. Evaluación de inductores de resistencia en combinación con mancozeb. Se evaluaron seis tratamientos desde semana 25 hasta semana 35 del 2022, basados en solo tres ciclos (C1, C2 y C3) de aplicación a los 0, 7 y 14 días en cada tratamiento: **1)** Ácido salicílico cada 30 días + Mzb 62 SC (C1: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + ácido salicílico con nitrógeno = $1 \text{ L ha}^{-1} = 150 \text{ g i.a ha}^{-1}$, C2 y C3: Mzb = 2 L ha^{-1}), **2)** Ácido salicílico cada 15 días + Mzb 62 SC (C1: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + ácido Salicílico con nitrógeno = $0,5 \text{ L ha}^{-1} = 75 \text{ g i.a ha}^{-1}$, C2: Mzb = 2 L ha^{-1} y C3: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + ácido salicílico con nitrógeno = $0,5 \text{ L ha}^{-1} = 75 \text{ g i.a ha}^{-1}$), **3)** Acibenzolar cada 40 días + Mzb 62 SC (C1: Mzb = $1,7 \text{ L ha}^{-1}$ + acibenzolar = $0,080 \text{ L ha}^{-1} = 40 \text{ g i.a ha}^{-1}$, C2 y C3: Mzb = 2 L ha^{-1}), **4)** Mancozeb 62 SC cada 7 días (C1, C2 y C3: Mzb = 2 L ha^{-1}), **5)** Aceite + adyuvante cada 7 días (C1, C2 y C3: aceite parafínico = $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ + ácidos grasos = $0,5 \text{ L ha}^{-1}$) y **6)** Testigo sin aplicación. Se utilizaron plantas en estados de hoja candela 0,2, 0,4 y 0,6. Todos los ciclos de los tratamientos fueron mezclados y aplicados en toda la planta con el mismo equipo de aspersión, misma dosis de aceite y adyuvante, igual

volumen de mezcla y siguiendo el mismo orden de mezclado descrito en los experimentos 1 y 2. Desde los 0 hasta los 72 días después de iniciado (DDI) se realizaron evaluaciones semanales del conteo de hojas totales (HT) y posición de la hoja joven con mancha estadio 4 (YLS).

Experimento 4. Evaluación de estrategias biorracionales para la sustitución parcial y total de mancozeb. Se evaluaron 5 tratamientos (programas), donde cada tratamiento estaba representado por bloques de cultivo con un área de 1550 m², se realizaron aplicaciones con intervalos de 3 a 7 días entre ciclos y los fungicidas sistémicos fueron aplicados cada 5 semanas, realizando 28 ciclos (C₁₋₂₈) desde semana 22 hasta semana 43 del 2022: **1)** Programa comercial 100% mancozeb (C1: Mzb 60 SC= 1,7 L ha⁻¹ + fluxapiraxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C7: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹ y C8: Mzb 60 SC= 1,7 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **2)** Programa sustitución parcial mancozeb (-50%) + alternativas biorracionales (C1: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹ + fluxapiraxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2: botánico, C3: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹, C4: azufre, C5: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹, C6: cúprico, C7: Mzb 60 SC= 2,0 L ha⁻¹ + ácido salicílico con nitrógeno= 1 L ha⁻¹ y C8: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **3)** Programa sustitución parcial mancozeb (-70%) + alternativas biorracionales (C1: Mzb 60 SC = 1,0 L ha⁻¹ + fluxapiraxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2: botánico, C3: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹, C4: azufre, C5: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹, C6: cúprico, C7: Mzb 60 SC= 1,0 L ha⁻¹ + ácido salicílico con nitrógeno= 1 L ha⁻¹ y C8: Mzb 60 SC=1,0 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **4)** Programa rotación 100% con alternativas biorracionales (C1: Botánico + fluxapiraxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2: azufre, C3: cúprico, C4: azufre, C5: azufre, C6: cúprico, C7: ácido salicílico con nitrógeno= 1 L ha⁻¹ y C8: botánico + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹) y **5)** Testigo aceite + adyuvante (C1: aceite parafínico= 4,0 L ha⁻¹ + ácidos grasos= 1,0 L ha⁻¹ + fluxapiraxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C6, C7: aceite parafínico= 2,0 L ha⁻¹ + ácidos grasos= 0,5 L ha⁻¹ y C8: aceite parafínico= 4,0 L ha⁻¹ + ácidos grasos= 1,0 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹). Ver dosis de alternativas al mancozeb en experimentos 1, 2 y 3. Del ciclo 9 al 28 se mantuvieron los intervalos de ciclos igual a los ciclos del 1 al 8 y con la misma rotación.

En los restantes ciclos de fungicidas sistémicos fueron utilizados el fenpropimorph 88 OL (1,0 L ha⁻¹), pirimetanil 60 SC (0,6 L ha⁻¹) y fluxapiraxad 50 SC (0,4 L ha⁻¹). Todos los programas fueron aplicados con la misma dosis de aceite y adyuvante del tratamiento 5. Las aplicaciones fueron realizadas con un dron (AGRAS T16), a una dosis de aplicación de 24 L ha⁻¹, a una velocidad de 4 m s⁻¹, altura de 3,0

m sobre el dosel del cultivo, distancia entre líneas de 3,5 m y haciendo uso de boquillas Teejet XR 110015VS de tipo abanico.

Experimento 5. Evaluación de estrategias biorracionales para la sustitución total de mancozeb. Se evaluaron 3 programas, donde cada tratamiento estaba representado por bloques de cultivo con un área de 1600 m², se realizaron aplicaciones con intervalos de 3 a 7 días entre ciclos y los fungicidas sistémicos fueron aplicados cada 4 semanas, realizando 28 ciclos (C₁₋₂₈) desde semana 20 hasta semana 39 del 2023: **1)** Programa comercial 100% mancozeb (C1: Mzb 60 SC= 1,75 L ha⁻¹ + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹ + pirimetanil 60 SC= 0,6 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C6: Mzb 60 SC= 1,5 a 2,25 L ha⁻¹ según días intervalo y C7: Mzb 60 SC= 1,75 L ha⁻¹ + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹), **2)** Programa rotación 100% con alternativas biorracionales (C1: botánico + fluxapiroxad 30 SC= 0,4 L ha⁻¹ + pirimetanil 60 SC= 0,6 L ha⁻¹, C2: nutriprotector= 2,75 L ha⁻¹, C3: nutriprotector= 2,0 L ha⁻¹ + ácido salicílico con nitrógeno= 0,5 L ha⁻¹, C4: cúprico, C5: nutriprotector= 2,75 L ha⁻¹, C6: ácido salicílico con nitrógeno= 0,5 L ha⁻¹ y C7: botánico + difenoconazol 25 EC= 0,4 L ha⁻¹) y **3)** Testigo aceite + adyuvantes (C1: aceite parafínico= 4,0-8,0 L ha⁻¹, C2, C3, C4, C5, C6: aceite parafínico= 2,0 L ha⁻¹ y C7: aceite parafínico= 4,0-8,0 L ha⁻¹), también se utilizaron los adyuvantes de ácidos grasos (0,5 y 1,0 L ha⁻¹), óxido de zinc + silicio (0,36 L ha⁻¹) y emulsificante al 1% del volumen de aceite según estabilidad de las mezclas y condiciones lluviosas. Del ciclo 8 al 28 se mantuvieron los intervalos de ciclos igual a los ciclos del 1 al 7 y con la misma rotación. En los restantes ciclos de fungicidas sistémicos fueron utilizados el fenpropimorph 88 OL (1,0 L ha⁻¹), piraclostrobin 25 EC (0,4 L ha⁻¹), fenpropidin 75 EC (0,6 L ha⁻¹) y boscalid 50 SC (0,5 L ha⁻¹). Los programas 1 y 2 fueron aplicados con la misma dosis de aceite y adyuvante del programa 3. Las aplicaciones fueron realizadas con un dron (AGRAS T16), a una dosis de aplicación de 28 L ha⁻¹, a una velocidad de 6 m s⁻¹, altura de 3,0 m sobre el dosel del cultivo, distancia entre líneas de 3,5 m y haciendo uso de boquillas Teejet XR 110015VS de tipo abanico.

En los experimentos 1, 2 y 3, se utilizó un diseño completamente al azar con 5 repeticiones, para la evaluación del porcentaje de área foliar afectada (%AFA) se utilizó la escala de afectación de 0 a 100% para SN (Benavides-López, 2019), se evaluaron las HT y YLS según escala de Fouré (1985). En los experimentos 4 y 5, se utilizó un diseño de bloques no aleatorio, donde cada bloque fue un tratamiento con cinco parcelas (repeticiones) de 11 x 20 m dentro del bloque para el experimento 4 y siete parcelas por tratamiento para el experimento 5, en ambos experimentos se evaluaron las HT, YLS y posición de la hoja joven con estadios 5 que representan menos del 5% del área foliar (YLQ>5%) según escala de Fouré (1985). Se calculó el

área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en las variables estudiadas. Los datos se sometieron a un análisis de varianza mediante modelos lineales generales y mixtos, y la separación de medias fue determinada con la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1 y 2. Evaluación de fungicidas biorracionales alternativos al mancozeb. En ambos experimentos, todos los fungicidas evaluados registraron un control adecuado mostrando diferencias significativas ($p < 0,0001$) en el ABCPE con respecto al testigo sin aplicación y aceite + adyuvante (cuadro 1), por lo tanto, el control se atribuye al efecto protectante de los fungicidas aplicados sobre el envés de las hojas candelas, momento temprano donde inician los procesos de germinación y penetración de las esporas en los estomas expuestos de la hoja. En el experimento 1 el fungicida con mayor efectividad fue el mancozeb 62 SC (0,3d) con un control del 99,9% y con diferencias significativas con respecto a las alternativas de azufre (7,1c), cúprico (13,8c) y botánico (17,3c), sin embargo, entre las alternativas no se presentaron diferencias estadísticas y la efectividad de estos fue de 98%, 95% y 94% respectivamente, efectividades técnicamente adecuadas ($> 90\%$) para ser considerados futuras evaluaciones de programas. En el experimento 2 los fungicidas con mayor desempeño fueron el mancozeb 62 SC (0,1d) y el nutriprotector (0,5d) con efectividades del 99,9% y 99,8% respectivamente, el azufre (9,5c) se diferenció estadísticamente con un menor desempeño con respecto al mancozeb 62 SC y nutriprotector, sin embargo, la efectividad fue técnicamente aceptable con un control del 96,6% al ser superior del 90%. La alternativa de fungicida cúprico causó un manchado foliar leve (daño superficial del tejido).

Experimento 3. Evaluación de inductores de resistencia en combinación con mancozeb. A los 72 DDI en el efecto acumulado del ABCPE (cuadro 1) se evidenciaron diferencias significativas en las variables de HT ($p < 0,0001$) y YLS ($p = 0,0110$) entre los tratamientos, atribuyendo el efecto al fungicida e inductores de resistencia sobre el desarrollo de la enfermedad. Donde los tratamientos con menor desempeño fueron el testigo sin aplicación (HT=131c; YLS=91c) y aceite + adyuvante (HT=147b; YLS=99b). Los de mayor efecto sobre SN en ambas variables fueron los tres tratamientos de inductores y mancozeb 62 SC, sin embargo en el YLS aceite + adyuvante (99b) y mancozeb 62 SC (105ab) presentaron un nivel de retención relativamente similares posiblemente por el poco efecto en retención de síntomas, por

su parte los tratamientos de inductores presentaron un nivel de retención relativamente mayor y similares entre ellos como inductores de resistencia, donde el acibenzolar, ácido salicílico con N ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$) y ácido salicílico con N ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$) presentaron un YLS de 107a, 109a y 112a respectivamente, sin embargo, la estrategia de fraccionar la dosis de ácido salicílico con N a $0,5 \text{ L ha}^{-1}$ cada 15 días en tendencia presentó un mayor efecto para el YLS. El acibenzolar a la dosis evaluada causó una deformación en las hojas jóvenes emitidas durante 2 a 3 semanas después de la aplicación.

Cuadro 1. Evaluación de alternativas biorracionales al mancozeb sobre el ABCPE de SN en el 2022 y 2023.

Tratamientos	E1 [£] (2022) [¥]	E2 [£] (2022) [¥]	E3 [£] (2023) [¥]	
	%AFA	%AFA	HT	YLS
Nutriprotector	-	0,5 d	-	-
Cúprico	13,8 c	-	-	-
Azufre	7,1 c	9,5 c	-	-
Botánico	17,3 c	-	-	-
Mancozeb 62 SC	0,3 d	0,1 d	-	-
Aceite + Adyuvante	92,9 b	45,1 b	-	-
Testigo sin aplicación	303,1 a	285,3 a	-	-
Ácido salicílico + N cada 30 días	-	-	155 a	109 a
Ácido salicílico + N cada 15 días	-	-	152 a	112 a
Acibenzolar cada 40 días	-	-	150 a	107 a
Mancozeb 62 SC cada 7 días	-	-	154 a	105 ab
Aceite + adyuvante cada 7 días	-	-	147 b	99 b
Testigo sin aplicación	-	-	131 c	91 c
Lluvia acumulada	485 mm	405 mm	693 mm	

[£]= Experimento 1, 2 y 3 (Año)

[¥]= Separación de medias según la prueba de LSD Fisher al 95% de probabilidad

Experimentos 4 y 5. Evaluación de estrategias biorracionales para la sustitución parcial y total de mancozeb. Los programas evaluados en el experimento 4 estuvieron sometidos a un régimen de lluvia de 1728 mm acumulados, temperatura promedio de $27,3 \text{ °C}$ y humedad relativa promedio del 87% desde semana 20 hasta semana 43 del 2022, condiciones altamente favorables para la agresividad de la enfermedad. Los resultados de ABCPE se evidencian en el cuadro 2, indicando que hubo efecto

significativo ($p < 0,0001$) en el control de los tratamientos de programas evaluados sobre SN, donde el aceite + adyuvante (HT=332d; YLS=,217d y YLQ>5%=272c) fue el de menor desempeño con respecto a los demás tratamientos, demostrando que el mayor desempeño de los demás tratamientos se debe al efecto de los fungicidas que integraron cada programa, donde el tratamiento programa de sustitución parcial de mancozeb (-70%) + alternativas biorracionales obtuvo los mayores valores en HT (406b), YLS (282a) y YLQ>5% (359a). Los resultados evidencian que la sustitución parcial y total de mancozeb (-50%, -70% y -100% Mzb) es posible debido a que los programas obtuvieron un mayor control con diferencias significativas ($p < 0,001$) respecto al programa comercial de mancozeb (100%) en las variables de HT, YLS y YLQ>5% (100% Mzb < -50% Mzb \leq -100% Mzb \leq -70% Mzb), demostrando que las alternativas biorracionales de azufre, cúprico, botánico y ácido salicílico aportaron un efecto positivo en control de los programas evaluados contra SN. Los ciclos del fungicida cúprico causaron leves manchados foliares a partir de la hoja 5 de cada planta.

Cuadro 2. Efectividad de programas con sustitución parcial o total de mancozeb por alternativas biorracionales sobre el ABCPE de SN en el 2022 y 2023.

Tratamientos (Programas)	Experimento 4 (2022) [¥]			Experimento 5 (2023) [¥]		
	HT	YLS	YLQ>5%	HT	YLS	YLQ>5%
Comercial mancozeb (100%)	384 c	254 c	324 c	359 a	258 a	336 a
Sustitución parcial mancozeb						
(-50%) + alternativas biorracionales	388 bc	267 b	342 b	-	-	-
Sustitución parcial mancozeb						
(-70%) + alternativas biorracionales	406 b	282 a	359 a	-	-	-
Rotación con alternativas biorracionales (-100% Mzb)						
Rotación con alternativas biorracionales (-100% Mzb)	402 ab	278 a	358 a	352 a	240 b	326 a
Testigo aceite + adyuvante	332 d	217 d	272 c	283 b	187 c	256 b
Lluvia acumulada	1728 mm			1001 mm		

[¥]= Separación de medias según la prueba de LSD Fisher al 95% de probabilidad

Por su parte, los programas evaluados en el experimento 5 estuvieron sometidos a un régimen de lluvia de 1001 mm acumulados, temperatura promedio de 26,3 °C y humedad relativa promedio del 81% desde semana 20 hasta semana 39 del 2023,

condiciones favorables para la enfermedad. De acuerdo con los resultados obtenidos de las alternativas biorracionales en el cuadro 2, en el programa evaluado se sustituyó el azufre por el nutriprotector, al evidenciar este último una efectividad igual al mancozeb. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias significativas ($p < 0,0001$) al efecto de los fungicidas evaluados en ambos programas (100% y -100% Mzb) con respecto a un menor desempeño del aceite + adyuvante (HT=283b; YLS=187c y YLQ>5%=265b). Se presentó un control igual entre los programas de rotación de alternativas biorracionales (-100% Mzb) y comercial mancozeb (100%) en las variables de HT y YLQ>5%, mientras que en la variable de YLS se presentaron diferencias significativas a favor del programa comercial mancozeb (100%). Los resultados obtenidos evidencian el potencial promisorio de un programa integrando las alternativas biorracionales de nutriprotector, cúprico, botánico y ácido salicílico en ausencia de fungicidas multisitio convencionales. Los ciclos del fungicida cúprico causaron leves manchados foliares a partir de la hoja 5.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que las alternativas de nutriprotector, azufre, cúprico, botánico y ácido salicílico presentaron actividad contra *P. fijiensis* y logran reducir la severidad de la Sigatoka negra. Con estas herramientas al ser integradas en programas de combate de la enfermedad se alcanzó una reducción de mancozeb del 50% hasta el 100% con niveles de control similares al combate convencional de mancozeb para Sigatoka negra en el cultivo de banano.

REFERENCIAS

1. Anastassiadou M, Bernasconi G, Brancato A, Carrasco-Cabrera L., Greco, L, Jarrah S, Kazocina A, Leuschner R, Magrans JO, Miron I, Nave S, Pedersen R, Reich H, Rojas A, Sacchi A, Santos M, Stanek A, Theobald A, Vagenende B, Verani A. 2020. Modification of the existing maximum residue levels for mancozeb in various crops. EFSA Journal, 18 (8). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6108>.
2. Benavides-López LF. 2019. Cuantificación temprana de *Pseudocercospora fijiensis* por medio de qPCR en modelos predictivos de Sigatoka negra en plantas de Banano (*Musa AAA*). Tesis Lic. San Carlos, CR, TEC. 183 p.

3. Benavides-López LF, Camacho-Calvo M, Muñoz-Fonseca ME. 2022. Relación entre factores climáticos y la infección foliar de Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en plantas de banano (*Musa* AAA) con y sin la aplicación de fungicidas. *AgroInnovación en el Trópico Húmedo* 3 (1): 2-13.
4. Becker P, Esker P, Umaña G. 2021. Incorporation of microorganisms to reduce chemical fungicide usage in black sigatoka control programs in Costa Rica by use of biological fungicides. *Crop Protection* 146 (2021), 105657. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105657>
5. Churchill ACL. 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Molecular Plant Pathology* 12 (4): 307-328.
6. Crous PW, Groenewald JZ, Slippers B, Windfield MJ. 2016. Global food and fibre security threatened by current inefficiencies in fungal identification. Royal Society Publishing. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 371, 20160024.
7. Fouré E. (1985). Black leaf streak disease of bananas and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), study of the symptoms and stages of the disease in Gabon. IRFE, Paris.
8. FRAC 2021. FRAC code list 2021: <https://www.frac.info/knowledge-database/accept>. Consulta el 30 octubre del 2023.
9. Hidalgo M, Tapia A, Rodríguez W, Serrano E. 2006. Efecto de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) sobre la fotosíntesis y transpiración foliar del Banano (*Musa* sp AAA, cv. Valery). *Agronomía Costarricense* 30 (1): 35-41.
10. Martínez I, Villalta R, Soto E, Murillo G, Guzmán M. 2011. Manejo de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano. *Hoja divulgativa* 2011 (2): 1-2.

Incorporación semicomercial del fungicida botánico Pluviam 6 OL en el combate de Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en banano, Costa Rica

Clevis Castellón-Mora¹; Diego Reyes-Gatgens²; Johanna Castellón-Canales¹; Arianna Aronne-Sparisci³

¹Agrocomercializadora CyM De Cartago S.A.; ²Terova Inc; ³Griffith Foods S.A.

*Autor de

Correspondencia:

Diego Reyes-Gatgens
djreyes@terova.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

06 Abril, 2024

Cita:

Castellón-Mora C, Reyes-Gatgens D, Castellón-Canales J y Aronne-Sparisci A. 2024. Incorporación semicomercial del fungicida botánico Pluviam 6 OL en el combate de Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en banano, Costa Rica. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 32
<https://doi.org/10.62498/AR TC.2432>

RESUMEN

El control de Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) se basa en uso constante de fungicidas y prácticas culturales en el cultivo. Las actuales restricciones de la Unión Europea sobre el uso y los LMR de muchos de los fungicidas químicos ha generado una búsqueda de nuevas moléculas que puedan ser eficaces para el control de la enfermedad y tengan un impacto leve sobre el ambiente, usuarios y consumidores. Pluviam 6 OL se ha puesto a prueba como parte de la solución a este problema, con su uso semicomercial se ha comprobado la capacidad de disminuir la carga química actual en un 33,4% y con altas posibilidades de aumentarlo.

Palabras clave: Fungicida Botánico, *Pseudocercospora fijiensis*, Carga Química, LMR.

ABSTRACT

The Black sigatoka control (*Pseudocercospora fijiensis*) is based on the constant use of fungicides and cultural practices in the crop. The current European Union restrictions on the use and MRLs of many chemical fungicides has generated a search for new molecules that can be effective in controlling the disease and have a slight impact on the environment, users and consumers. Pluviam 6 OL (botanical fungicide) has been tested as part of the solution to this problem. Its semi-commercial use has proven the ability to reduce the current chemical load by 33.4% and with high possibilities of increasing it.

Keywords: Botanical Fungicide, *Pseudocercospora fijiensis*, Chemical Load, MRL.



INTRODUCCIÓN

La Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) es una enfermedad importante que enfrentan los países productores de banano y plátano. Para su manejo se usan sustancias químicas, lo cual ejerce presión sobre el ambiente, ya que, causa riesgos para el suelo, fuentes acuíferas, biodiversidad y salud humana. En los últimos años, ha habido un cambio significativo para reducir el consumo excesivo e indebido de pesticidas, lo que ha impulsado una conciencia a nivel mundial para minimizar su uso y buscar alternativas sostenibles, principalmente para los pesticidas altamente peligrosos. En este sentido, la Unión Europea, ha implementado medidas para disminuir al mínimo detectable los límites máximos de residuos (LMR) a los principales fungicidas que permiten tener un control tolerable de la enfermedad (Gutiérrez-Jiménez *et al.*, 2018; Comisión Europea, 2020).

Según Gutiérrez-Jiménez *et al.* (2018), el uso de extractos vegetales se visualiza como una alternativa para ser utilizados como biofungicidas. Pluviam 6OL es un fungicida de origen botánico (i.a: aceite de ajo, menta, tomillo y cassia), el cual es fabricado a partir de una baja concentración de extractos botánicos, de grado alimenticio que no supone ningún riesgo al cultivo, salud humana o al ambiente, ha dado resultados positivos en las pruebas in vitro, hoja simple, eficacia biológica, parcelas en baja y alta precipitación, así como en pruebas semicomerciales. El objetivo de esta investigación es evaluar el uso del Pluviam 6 OL dentro de un programa de combate de Sigatoka negra, como una alternativa sostenible que reduce la carga química actual en una finca de banano en Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Según el artículo revisado de Carr *et al.* (2021) el cual se realizó en finca San Pablo, ubicada en el distrito de Pacuarito, cantón de Siquirres, provincia de Limón, Costa Rica, propiedad de CORBANA y el período experimental tuvo una duración aproximada de 6 meses, de la semana 35 (setiembre) del 2021 a la semana 10 (marzo) del 2022.

Tratamientos. Se seleccionaron áreas similares en vigor y condiciones de suelo sembradas con el cultivar Valery y Grand Naine (Musa AAA). El tratamiento 1 es Pluviam 6 OL y se ubicó en los cables 3, 5, 6 y 8 bloque Norte (46 ha de fumigación)

mientras que tratamiento 2 es el comercial y se ubicó en los cables 3, 5, 7 y 8 bloque Sur (117 ha de fumigación).

Cuadro 1. Descripción de tratamientos del experimento.

Tratamiento	Descripción	Ingrediente Activo (g/ha)	Dosis (L/ha)	Aceite (L/ha) (1% del aceite)	Emulsificante
1	Introducción de Pluviam 6 OL ($\geq 30\%$) en un programa de combate de Sigatoka negra	120	1 - 2	2 L cuando Pluviam se aplicó solo y 4 - 6 L con fungicidas sistémicos	Emulsifer (cuando se aplicó solo) Imbirex CR (con fungicidas sistémicos)
2	Programa comercial de combate de Sigatoka negra	-	-	1 - 2 L con mancozeb y 6 L con fungicidas sistémicos	Imbirex CR

Fuente: Carr *et al.* (2021).

Aplicaciones. En total se realizaron 36 aplicaciones para ambos bloques. En el tratamiento 1 se sustituyeron en total 12 ciclos de Banazeb® 60 SC (mancozeb) por Pluviam® 6 OL; 10 ciclos aplicado solo con una dosis de aceite de 2 L/ha y 2 ciclos con los fungicidas sistémicos Seeker® 75 EC (fenpropidin) con una dosis de aceite de 4 L/ha y Cumora® 50 SC (boscalid) aplicado con una dosis de aceite de 6 L/ha. Las aplicaciones se realizaron de acuerdo con las condiciones de clima y la presión de la enfermedad. En este sentido y dadas las condiciones climáticas que se presentaron en semana 52-2021, el intervalo entre aplicaciones se abrió a 12 días (días control) por lo que fue necesario realizar una aplicación general en ambos tratamientos de la mezcla: Sico® 25 EC (difenoconazole) más Siganex® 60 SC (pyrimetanil) y Banazeb® 60 SC (mancozeb). Todas las aplicaciones fueron realizadas con avión, Swath de 22 metros, deflector para fungicidas protectores en ángulo de 52 grados y para fungicidas sistémicos 30 grados, presión de la boquilla 35-40 PSI, orificio 2 y una velocidad de vuelo estándar. Durante todo el periodo experimental ambos tratamientos se aplicaron a un volumen total de 20 L/ha.

Diseño experimental y evaluaciones. El área para ambos tratamientos fue equivalente en extensión. En cada bloque se evaluaron 4 cables, simulando la misma cantidad de repeticiones (en consideración de la restricción en la aleatorización de los tratamientos) y en las cuales se evaluó semanalmente la severidad de la enfermedad mediante la escala de Stover modificada por Gauhl, (1989). En cada evaluación se midieron las

variables: total de hojas a la floración y 11 semanas después de floración por planta, hoja más joven enferma (HJE) y hoja más joven con mancha (HJM), en cinco plantas recién florecidas y de once semanas de florecidas, hojas funcionales de 4 y 8 semanas. Además, se midió la Suma bruta en hoja 3 hoja 5, sistema simplificado a partir de la escala para preaviso de Fouré, en cinco plantas próximas a la floración y emisión foliar. En vista de que el experimento se realizó en una plantación establecida, bajo control comercial, las evaluaciones se iniciaron tres semanas antes del inicio de las aplicaciones con el fin de definir el punto de partida en cada tratamiento, el cual podría ser utilizado como una covariable.

Análisis de datos. Se calculó el Área bajo la curva (ABC) de progreso de la enfermedad en cada uno de los tratamientos y para cada una de las variables, con estos valores se realizaron comparaciones por medio de la prueba “t” de Student con $p=0,05$. Además, se elaboraron gráficos comparativos del comportamiento de cada variable en el tiempo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rodriguez-Cabrera *et al.* (2021), indica que las variables de monitoreo prefloración son importantes ya que ayudan a detectar la enfermedad de una manera temprana, así como a planificar las estrategias de control. El análisis estadístico de estas variables muestra que no existen diferencias significativas para ninguno de los tratamientos evaluados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Evaluación de Sigatoka negra prefloración mediante el análisis de datos área bajo la curva (ABC).

	SBH3*	SBH5	HJEF	HJMF	THf	SevF	IS_PROF
Promedio Com.	2859,50	6676,00	270,93	297,98	314,18	8,63	159,59
Promedio Pluv.	4025,50	9730,50	267,25	290,48	316,70	10,21	183,04
Desv. Est. Com.	811,07	1007,95	6,47	8,18	7,52	1,42	28,66
Desv. Est. Pluv.	885,55	2748,10	3,40	8,06	7,68	1,98	28,31
Pr>F	0,1002	0,0819	0,3531	0,2393	0,6550	0,2418	0,2885

*SBH3: Suma bruta hoja 3, SBH5: Suma bruta hoja 5, HJEF: hoja más joven enferma a floración, HJMF: hoja más joven con mancha a floración, THf: Total de hojas a floración, SevF: Severidad de la enfermedad a floración y IS_PROF: índice de severidad promedio a floración. Fuente: Carr *et al.* (2021).

Por otro lado, evaluar variables post floración, proporcionan información sobre el desarrollo de la Sigatoka, la eficacia de los tratamientos y las tendencias a largo plazo, lo que es fundamental para la toma de decisiones informadas en la agricultura y la protección (Guzmán-Quesada, 2003). Los datos obtenidos al analizar las variables post floración no presentan diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Evaluación de Sigatoka negra a la post-floración mediante el análisis de datos área bajo la curva (ABC).

	TH04*	TH08	HJE11	HJM11	TH11s	SEV11	IS_PROF11
Promedio Com.	208,95	192,63	95,60	122,60	186,75	30,28	1307,60
Promedio Pluv.	199,40	181,28	86,85	106,88	176,55	34,10	1500,19
Desv. Est. Com.	8,60	25,25	19,39	21,12	20,17	5,48	304,74
Desv. Est. Pluv.	6,16	11,79	9,33	7,29	12,46	3,76	169,87
Pr>F	0,1210	0,4464	0,4471	0,2089	0,4226	0,2935	0,3119

*TH: total de hojas a 4 y 8 semanas, HJE11: hoja más joven enferma a las once semanas, HJM11: hoja más joven con mancha a las once semanas, TH11s: Total hojas a 11 semanas de la floración, Sev11: Severidad de la enfermedad a las once semanas y IS_PRO11: índice de severidad promedio a las once semanas. Fuente: Carr *et al.* (2021).

Las variables, total de hojas a floración (THf) y total de hojas a cosecha (TH11s) indican tanto el estado de salud, así como la capacidad fotosintética de la planta a floración y a cosecha de la fruta. La figura 1, sugiere que ambos tratamientos se comportan de manera similar. Asimismo, se observa que la variable TH11s en ambos tratamientos se mantienen dentro de un rango de entre 6 y 8 hojas, lo cual, según Corporación Bananera Nacional en su informe del año 1992, es una categoría ideal. (Guzmán-Quesada, 2003; Marín y Romero, 1992).

Por otro lado, el comportamiento de la variable índice de severidad durante la floración (ISF) y 11 semanas o a la cosecha (IS11s) no fue estadísticamente significativa y se comportó de manera similar, según se puede observar en la figura 2. Esta variable proporciona una medida de la extensión de la infección en las hojas en un momento crítico del ciclo de crecimiento, que es la floración (Rodríguez *et al.*, 2021 y Guzmán-Quesada, 2003).

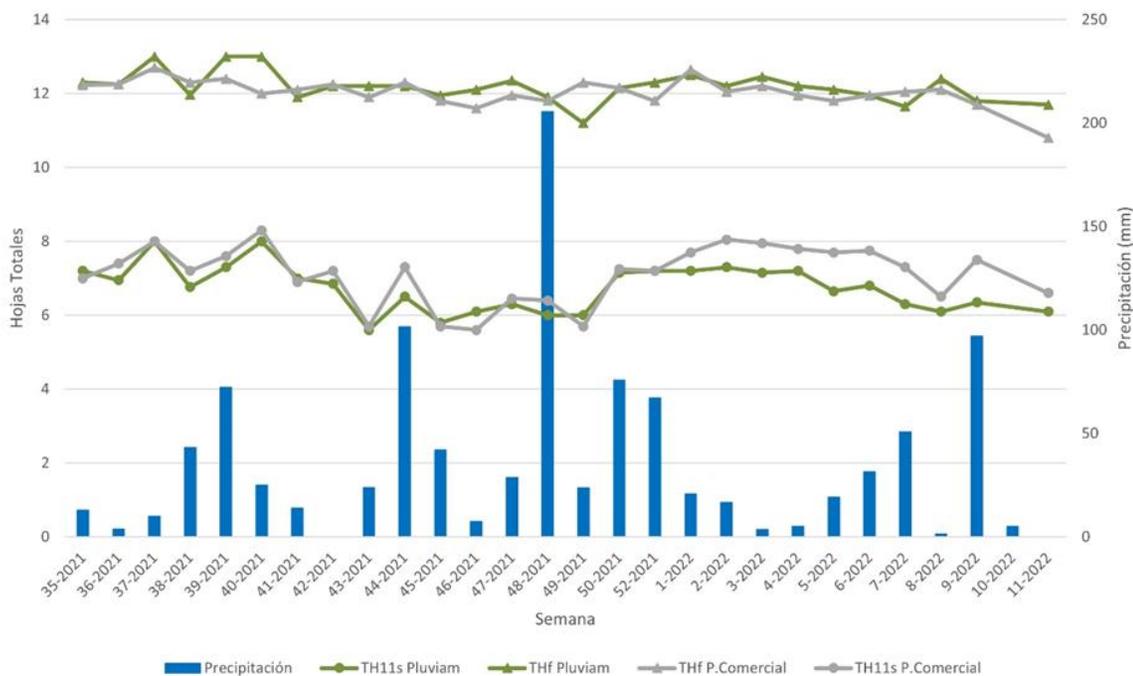


Figura 1. Comportamiento de la variable Total de hojas a floración y a 11 semanas de la floración (cosecha). Fuente: Carr *et al.* (2021).

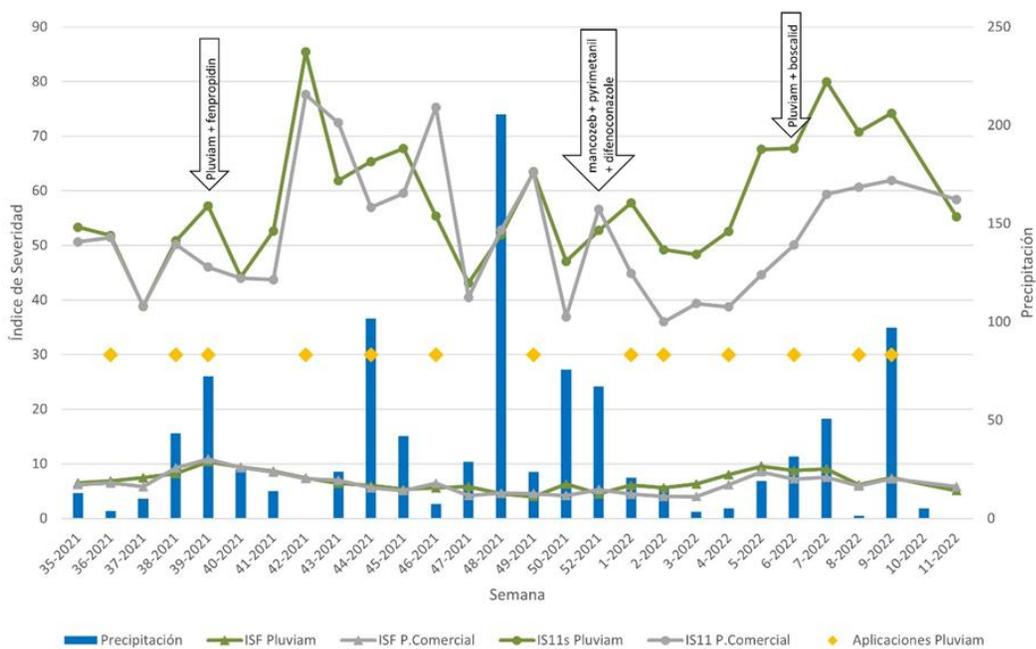


Figura 2. Comportamiento de la variable Índice de severidad a floración (ISF) y a 11 semanas después de la floración (IS11s). Fuente: Carr *et al.* (2021).

CONCLUSIONES

El programa alternativo de combate de Sigatoka negra logró una reducción total del uso de protectantes en un 33,4% sin impactos negativos en la producción. Esta eficacia evidenciada en la disminución de protectantes sugiere la viabilidad de adoptar este enfoque como una alternativa eficiente y sostenible.

Las variables evaluadas, incluyendo la suma bruta en hojas 3 y 5, el total de hojas a floración, el total de hojas a la cosecha, el índice de severidad y la emisión foliar, no mostraron diferencias estadísticas significativas en comparación con el programa comercial. Este hallazgo respalda la equivalencia en términos de rendimiento entre ambos programas.

Se destaca la eficacia del fungicida botánico Pluviam 6OL en el control de Sigatoka Negra, presentándose como una herramienta viable para los productores de banano. Aunque se observó una mayor diferencia en el control durante el periodo de mayor presión de la enfermedad, esta no alcanzó niveles críticos, subrayando la utilidad del Pluviam 6OL incluso en condiciones desafiantes.

REFERENCIAS

1. Comisión Europea. 2020. Commission implementing regulation (EU) concerning the non-renewal of the approval of the active substance mancozeb, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market and amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011.
2. Gutiérrez-Jiménez, Eduardo, Pedroza-Sandoval, Aurelio, Martínez-Bolaños, Luciano, Samaniego-Gaxiola, José Alfredo, & García-González, Fabián. (2018). Efecto de aceites naturales contra *Mycosphaerella fijiensis* en condiciones in vitro y detección de fitoquímicos activos. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 141-150. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1707-4>
3. Carr, C., Villalobos, R., Villalta, R., & Chaves, N. (2021). Evaluación semi-comercial de la eficacia biológica del fungicida botánico Pluviam 6 OL para el combate de la Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*, sin. *Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo del banano (*Musa AAA*). [Informe final de investigación sin publicar]. Corporación Bananera Nacional, Costa Rica.
4. Gauhl, F. 1989. Epidemiología y ecología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en plátano (*Musa* sp.) en Costa Rica. Tesis Ph.D. Univ. Göttingen (Alemania). Trad. Por Jaime Espinoza. Unión de Países Exportadores de Banano (UPEB). 126 p.
5. Rodríguez Cabrera, A., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M. (2021). Construcción de la curva de estado evolutivo de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet.) en banano orgánico. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(2), 147-155.
6. Marín, D., Romero, R. (1992). El combate de la Sigatoka. <https://www.musalit.org/viewPdf.php?file=FA935039.pdf&id=2065>.

-
7. Guzmán-Quesada, M. 2003. Epidemiología de la Sigatoka Negra y el sistema de preaviso biológico. Pag. 26-27. In Taller INIBAP, Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka Negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. Guayaquil. ECU.

Control de la severidad de sigatoka negra en banano con silicio en condiciones de campo

Juan Antonio Orozco-Valencia¹; Wilberth Chan-Cupul¹; Marco Tulio Buenrostro-Nava¹; Mario Orozco-Santos²; Gilberto Manzo-Sánchez^{1*}

¹Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Autopista Colima-Manzanillo Km. 40, CP. 28930, Tecomán, Colima, México. ²Campo Experimental Tecomán. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México.

*Autor de

Correspondencia:

Gilberto Manzo-Sánchez
gmanzo@uocol.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

06 Abril, 2024

Cita:

Orozco-Valencia JA, Chan-Cupul W, Buenrostro-Nava MT, Orozco-Santos M y Manzo-Sánchez G. Control de la severidad de sigatoka negra en banano con silicio en condiciones de campo.

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 33

<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2433>

RESUMEN

Se evaluó la efectividad de tres dosis de silicato de potasio (SILI-K®: 1.5, 2.5 y 3.5 mL L⁻¹) y Mancozeb sobre la severidad de Sigatoka negra en una plantación de banano 'Gran Enano'. Los resultados a los 48 y 56 dda, mostraron un valor promedio ponderado de infección (PPI) de 1.16 y 1.2 para Mancozeb; por el contrario, la dosis de 3.5 mL L⁻¹ de SILI-K® presentó valores más bajos de 0.74 y 0.73 a los 48 y 56 dda, respectivamente. A los 64 dda mostraron que la dosis de 2.5 mL L⁻¹ (1.08) tuvo el mayor valor de PPI por lo que las dosis de 1.5 y 3.5 mL L⁻¹ mostraron ser los mejores tratamientos con los valores de 0.86 y 0.76, respectivamente.

Palabras clave: *Pseudocercospora fijiensis*, silicato de potasio, promedio ponderado de infección, área bajo la curva del progreso de la enfermedad.

ABSTRACT

The effectiveness of three doses of potassium silicate (SILI-K®: 1.5, 2.5 and 3.5 mL L⁻¹) and Mancozeb on the severity of black Sigatoka in a 'Gran Enano' banana orchard was evaluated. The results at 48 and 56 dai showed a weighted mean infection (WMI) value of 1.16 and 1.2 for Mancozeb; on the contrary, the 3.5 mL L⁻¹ dose of SILI-K® presented lower values of 0.74 and 0.73 at 48 and 56 dai, respectively. At 64 dai they showed that the dose of 2.5 mL L⁻¹ (1.08) had the highest PPI value, so the doses of 1.5 and 3.5 mL L⁻¹ showed to be the best treatments with values of 0.86 and 0.76, respectively.

Keywords: *Pseudocercospora fijiensis*, potassium silicate, weighted average infection, area under the disease progress curve.



INTRODUCCIÓN

Los bananos y plátanos son afectados por diferentes enfermedades, que pueden llegar a causar una disminución en su rendimiento y ocasionan pérdidas económicas a los productores: dentro de ellas sobresale la Sigatoka negra (SN) (*Pseudocercospora fijiensis*), la cual tiene alto impacto en el rendimiento y calidad del fruto, dificultando su exportación y la venta nacional (Manzo-Sánchez *et al.*, 2014). Los métodos de control de la incidencia y severidad de la SN se basan en el uso de fungicidas químicos de tipo preventivo y tipo sistémico, pero el uso excesivo de estos ha provocado la resistencia del patógeno (Martínez-Bolaños *et al.*, 2012). Surgen como alternativa para prevenir el efecto de la SN productos biológicos y orgánicos, los cuales suelen ser amigables con el ambiente, pero su baja eficiencia es limitante para el control del patógeno. Se ha reportado que el silicato de potasio tiene capacidad de prevención contra patógenos en distintas especies de plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas (Rodrigues *et al.*, 2015).

Los mecanismos de resistencia que induce el silicato de potasio en las plantas son de tipo físico y bioquímico (Wang *et al.*, 2017), así como también interviene en la señalización de fitohormonas moduladas por silicio y la producción de enzimas que contribuyen a la resistencia de las plantas contra el estrés biótico (Islam *et al.*, 2023). Por ejemplo, se ha demostrado que la aplicación al follaje reduce la severidad de enfermedades foliares (Rodrigues *et al.*, 2015). Por ejemplo, en banano ‘Gran Enano’, Kablan *et al.* (2012), evaluaron el uso de ácido silícico (H_4SiO_4) a una concentración de 2 mM para el control de la severidad de la SN en forma de solución nutritiva bajo condiciones semi-controladas donde demostraron una reducción de la severidad en un 18.8%. En base a lo anterior, en el presente trabajo se evaluaron tres dosis de silicato de potasio y un testigo regional (fungicida Mancozeb) para la reducción de la severidad de la Sigatoka Negra en una plantación de banano ‘Gran Enano’ a campo abierto localizada en el municipio de Coahuayana, Michoacán, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de experimentación. El experimento se realizó de febrero a abril de 2020 en una plantación de banano ‘Gran Enano’ con 15 años de edad, una superficie de 2 ha y un suelo tipo vertisol en la localidad del Ticuiz perteneciente al Mpio. de Coahuayana, Michoacán (18°40'15.67"N, 103°41'01.23"O) a una altitud de 28 m (Google Earth,

2019), donde se registra una temperatura promedio de 28 a 30 °C, con precipitación pluvial anual de 874.24 mm, y una humedad relativa del 91.96%.

Tratamientos. Consistió en dosis de 1.5, 2.5 y 3.5 mL L⁻¹ de agua, utilizando el producto comercial SILI-K® (silicato de potasio al 40%). Además, se añadió como testigo a Mancozeb a dosis de 20 g L⁻¹. Las aplicaciones se realizaron cada 8 días con la ayuda de una bomba motopulverizadora marca STIHL® con capacidad de 15 L. Los datos se tomaron cada 8 días después de la primera aplicación siguiendo la metodología propuesta por Patiño *et al.* (2007). Las plantas de banano ‘Gran Enano’ donde se aplicaron los tratamientos fueron aquellas próximas a floración y con presencia de SN y se evaluaron hasta la etapa de cosecha (Agamez-Ramos *et al.*, 2012).

Variables a evaluar

Severidad. Se realizó una estimación visual del área foliar con síntomas de SN por hoja de cada planta seleccionada enumerándolas de arriba hacia abajo, es decir, de la última hoja completamente expandida y comenzando de derecha a izquierda. A partir de lo anterior se calculó el porcentaje de la hoja cubierta por los síntomas mediante la escala diagramática de Stover y modificada por Gauhl (1990).

Para conocer el grado de severidad se dividió la hoja en partes iguales, la hoja con presencia de SN en la mitad del limbo foliar tuvo el grado 5 (34-40%) y si la otra mitad también, obtuvo el grado 6 (>50%). Para encontrar los grados 3 y 4 se dividió la hoja en cuatro partes iguales, si la hoja presentó lesiones hasta la mitad de ¼ de limbo estuvo en el grado 3 (6-15%) y si la presencia de lesiones fue del ¼ de limbo foliar recibió el grado 4 (16-33%). Para el grado 2 se dividió ¼ del limbo foliar en dos partes iguales. Si la hoja presentó hasta la mitad de ¼ del limbo foliar lesionado obtuvo el grado 2 (<5%). En el caso del grado 1 se tomó cuando la hoja tuvo hasta 10 manchas. Este procedimiento se repitió en cada una de las unidades experimentales (Martins *et al.*, 2007).

Promedio ponderado de infección (PPI). Se determinó a partir de la siguiente fórmula: $PPI = (\text{porcentajes de hojas de cada grado} * \text{valor de cada grado en la escala}) / 100$ (Vargas-Hernández *et al.*, 2009).

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Esta variable se calculó con la siguiente fórmula descrita por Shaner y Finney (1977):

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Y_{i+1} + Y_i}{2} * (t_{i+1} - t_i)$$

Donde Y_i = expresa la severidad (en función del índice de infección acorde con la escala), X_i = tiempo (días) a la i -ésima observación y n = número total de observaciones.

Diseño experimental y análisis estadístico. El diseño se realizó en bloques completamente al azar con tres repeticiones donde se seleccionaron cinco plantas por bloque, cada bloque estuvo separado entre sí por una distancia de 5 m con el fin de disminuir el traslape en las aplicaciones de los productos. Las dimensiones de cada bloque fueron de 22 m de ancho y 22 m de largo cada uno. Los datos fueron sometidos a una prueba de homogeneidad (prueba de Levene $\alpha = 0.5$) y posteriormente al análisis de varianza (ANOVA) con la ayuda del software SAS y comparación de medias con la prueba de Tukey al 0.05 (Montgomery y Runger, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Severidad. En esta variable los datos no mostraron diferencia significativa con la prueba de medias de Tukey al 0.05, sin embargo, en el primer muestreo el tratamiento Mancozeb presentó estadísticamente ($F=0.40$, $P=0.7590$) el mayor promedio de severidad con 1.93, mientras que para el caso de la dosis de silicato de potasio a 1.5 mL L⁻¹ de agua tuvo el menor promedio con 1.43, a los 16 ($F=0.36$, $P=0.7812$), 24 ($F=0.38$, $P=0.7671$), 32 ($F=0.37$, $P=0.7495$), 40 ($F=0.44$, $P=0.7307$) y 48 dda ($F=0.69$, $P=0.5822$). En cambio, la dosis de silicato de potasio a 2.5 mL L⁻¹ de agua obtuvo el mayor promedio de severidad con los valores de 2.0, 2.03, 1.98, 1.96 y 2.12, mientras que la dosis de 3.5 mL L⁻¹ alcanzó los menores promedios con 1.3, 1.53, 1.53 y 1.5 y 1.47, respectivamente. Por otra parte, a los 56 dda ($F=0.67$, $P=0.5920$) el Mancozeb presentó el promedio más alto con 2.02 mientras que a los 64 dda ($F=0.73$, $P=0.5614$) la dosis 2.5 mL L⁻¹ obtuvo el mayor valor de severidad con 2.01. La dosis de 1.5 mL L⁻¹ de agua obtuvo los menores promedios de severidad en comparación con el mancozeb y la dosis 2.5 mL L⁻¹ durante todo el experimento (Cuadro 1). Sin embargo, los valores fueron más altos que la dosis de 3.5 mL L⁻¹. Los resultados obtenidos indican que la dosis de 3.5 mL L⁻¹ de Silicato de potasio fue la que obtuvo el menor promedio de severidad, PPI y ABCPE, ya que el silicato de potasio pudo haber interactuado en los mecanismos de defensa de la planta al producir compuestos

antimicrobianos u otros mecanismos de defensa (Wang, 2017; Islam *et al.*, 2023). En un estudio realizado por Buck *et al.* (2008), evaluaron la severidad de la mancha del arroz (*Magnaporthe grisea*), donde utilizaron 5 dosis de silicato de potasio al 26% (1, 4, 6, 8 y 16 g L⁻¹ de agua) y un testigo (sin aplicación) para su control bajo condiciones de invernadero. Los resultados mostraron que las dosis 6 y 8 g L⁻¹ fueron las mejores al obtener la menor severidad durante todo el experimento, estos resultados son semejantes a los del presente experimento en donde a los 64 dda los tratamientos 1.5 y 3.5 mL L⁻¹ tuvieron el menor promedio de severidad.

Cuadro 1. Severidad de la Sigatoka Negra en banano bajo diferentes dosis de silicato de potasio.

Dosis de silicato de potasio (mL L ⁻¹ de agua)	Días después de la aplicación							
	8	16	24	32	40	48	56	64
1.5	1.88	1.83	1.84	1.75	1.58	1.78	1.66	1.65
2.5	1.6	2	2.03	1.98	1.96	2.12	1.98	2.01
3.5	1.43	1.3	1.53	1.53	1.5	1.47	1.42	1.4
Mancozeb (20 g L ⁻¹)	1.93	1.77	1.95	1.85	1.85	1.95	2.02	1.8
<i>F</i>	0.40	0.36	0.38	0.37	0.44	0.69	0.67	0.73
<i>P</i>	0.7590	0.78 12	0.7671	0.7495	0.730 7	0.5822	0.59 20	0.561 4

Medias entre filas con mayor promedio son resaltadas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Promedio ponderado de infección (PPI). Los resultados del promedio ponderado de infección de la SN lograron ser estadísticamente iguales (Cuadro 2), sin embargo, a los 8 dda ($F=0.45$, $P=0.7266$), el Mancozeb mostró un menor efecto sobre el control de la enfermedad con un PPI de 1.12. Durante los monitoreos 16 ($F=0.63$, $P=0.6147$), 24 ($F=0.49$, $P=0.6995$), 32 ($F=0.67$, $P=0.5937$) y 40 ($F=0.64$, $P=0.6112$), la dosis de 2.5 mL L⁻¹ demostró el menor efecto sobre el PPI con valores de 1.09, 1.02, 1.07 y 1.05 mientras que la dosis a 3.5 mL L⁻¹ fue el tratamiento con menor PPI con valores de 0.73, 0.75, 0.73 y 0.74. Los monitoreos 48 ($F=0.73$, $P=0.5648$) y 56 dda ($F=0.70$, $P=0.5765$), mostraron que el Mancozeb fue el tratamiento menos efectivo con PPI de 1.16 y 1.2, siendo la dosis de 3.5 mL L⁻¹ el mejor tratamiento con un valor de 0.74 y 0.73, a los 64 dda ($F=0.56$, $P=0.6585$) las medias mostraron que la dosis de 2.5 mL L⁻¹ tuvo el mayor valor de PPI por lo que las dosis de 1.5 y 3.5 mL L⁻¹ mostraron ser los mejores tratamientos con los valores de 0.86 y 0.76, respectivamente. Por otra parte, Yanar *et al.* (2011) evaluaron vía aplicación foliar la efectividad de silicato de potasio

a 1 g L^{-1} , Thiovit 80% WP (azufre) a 3 g L^{-1} más Bayleton WP (fungicida sistémico) a 0.5 g L^{-1} y un control (agua) para el control de la severidad y el índice de severidad de Mildiu Polvoriento (*Leveillula taurica*) en el cultivo de tomate ‘Alida F1’. Los resultados mostraron que el silicato de potasio tuvo igual efectividad que el azufre más el fungicida sistémico en el índice de severidad a partir de los 20 dda, caso contrario ocurrió en nuestros resultados en los muestreos 8, 48 y 56 dda, donde el Mancozeb tuvo los mayores PPI en comparación con las dosis de silicato de potasio ($1.5, 2.5$ y 3.5 mL^{-1}).

Cuadro 2. Promedio ponderado de infección de la Sigatoka Negra en banano bajo diferentes dosis de silicato de potasio.

Dosis de silicato de potasio (mL L^{-1} de agua)	Días después de la aplicación							
	8	16	24	32	40	48	56	64
1.5	0.83	0.85	0.83	0.8	0.8	0.84	0.86	0.86
2.5	1.06	1.09	1.02	1.07	1.05	1.09	1.1	1.08
3.5	0.76	0.73	0.75	0.73	0.74	0.74	0.73	0.76
Mancozeb (20 g L^{-1})	1.12	0.98	0.94	0.97	0.97	1.16	1.2	0.99
<i>F</i>	0.45	0.63	0.49	0.67	0.64	0.73	0.70	0.56
<i>P</i>	0.7266	0.6147	0.6995	0.5937	0.6112	0.5648	0.5765	0.6585

Medias entre filas con mayor promedio son resaltadas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad. En la Figura 1, se muestra la suma general del ABCPE de la Sigatoka Negra en banano, durante 64 días (8 monitoreos). Estadísticamente ($F=72.99, P=0.0001$) la dosis de 3.5 mL L^{-1} demostró el menor valor de ABCPE (9.98) en comparación con el resto de los tratamientos, los cuales presentaron valores de 10.67 (1.5 mL L^{-1}), 12.29 (Mancozeb) y 12.58 (2.5 mL L^{-1}). Por otra parte, en la Figura 2, se presenta el ABCPE a través del tiempo evaluado, reafirmando los resultados de la Figura 1, donde se observa que la dosis de 3.5 mL L^{-1} mostró el menor ABCPE durante todo el experimento, por debajo de la dosis de 1.5 mL L^{-1} . La dosis de 2.5 mL L^{-1} adquirió la mayor ABCPE distinguiéndose desde el segundo muestreo (16 dda) ante los demás tratamientos. En cambio, Mancozeb presentó diferencias significativas ($F=72.99, P=0.0001$) con las dosis de 1.5 y 3.5 mL L^{-1} en los monitoreos a los 48 y 56 dda en la ABCPE. Dichos resultados se asemejan a los obtenidos por Ramouthar et al. (2015), quienes evaluaron el ABCPE de la roya marrón (*Puccinia melanocephala*) en plántulas de la caña de azúcar bajo ambiente protegido. Donde aplicaron siete dosis de silicato de potasio (100, 200, 400, 800, 1200,

1600 y 2000 mg de ingrediente activo). Los resultados mostraron que las concentraciones 1600 y 2000 alcanzaron el menor ABCPE. Estos resultados se asemejan a los obtenidos en el presente estudio, con la dosis de 3.5 mL L⁻¹ donde desde el primer monitoreo se obtuvo la menor ABCPE, mientras que Mancozeb y la dosis de 2.5 mL L⁻¹ mantuvieron una relación en todos los muestreos. A los 64 dda Mancozeb tuvo mejor efectividad que la dosis de 2.5 mL L⁻¹, esto pudo originarse debido a la actividad biológica del Mancozeb, la cual consiste en la inhibición en la germinación de las esporas del hongo (Gullino *et al.*, 2010).

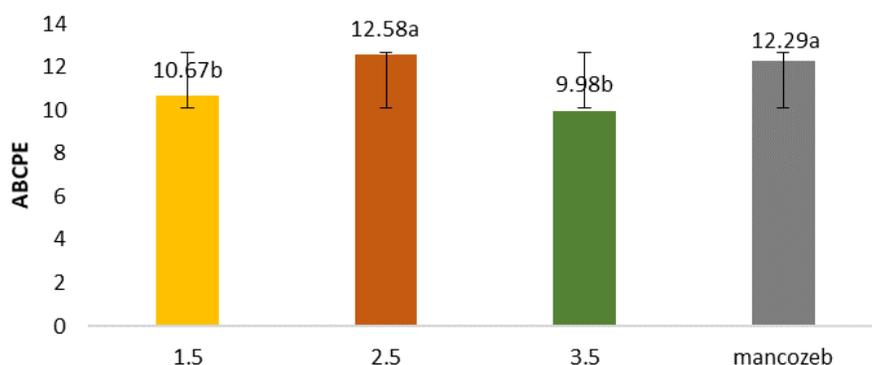


Figura 1. Suma general del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de las dosis de silicato de potasio (1.5, 2.5 y 3.5 mL L⁻¹) y Mancozeb (20 g L⁻¹) para el control de Sigatoka Negra en banano.

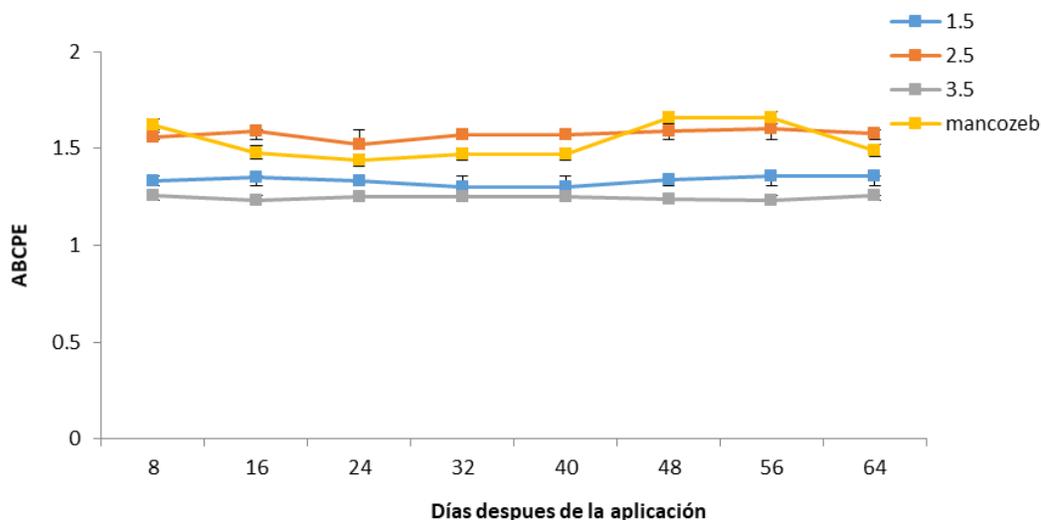


Figura 2. Comportamiento del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de la Sigatoka negra en banano.

CONCLUSIONES

El tratamiento 3.5 mL L⁻¹ de Silicato de potasio (SILI-K®) demostró tener un potencial para reducir la severidad de Sigatoka negra en comparación al Mancozeb, el cual se utiliza como control preventivo de la enfermedad.

REFERENCIAS

1. Agamez-Ramos EY, Campo-Arana R, Barrera-Violeth JL. 2012. Evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., en el control de la sigatoka negra en plátano Hartón. *Fitopatología Colombiana* 36: 47-51.
2. Carré-Missio V, Rodrigues FA, Schurt DA, Resende RS, Souza NFA, Rezende DC, Zambolim L. 2014. Effect of foliar-applied potassium silicate on coffee leaf infection by *Hemileia vastatrix*. *Annals of Applied Biology* 164: 396-403.
3. Buck GB, Korndörfer GH, Nolla A, Coelho L. 2008. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. *Journal of Plant Nutrition* 31: 231-237.
4. Gauhl F. 1990. Epidemiología y ecología de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en plátano (*Musa* sp.) en Costa Rica (No. SB608. B16 G26e). Unión de Países Exportadores de Banano.
5. Gullino ML, Tinivella F, Garibaldi A, Kemmitt GM, Bacci L, Sheppard B. 2010. Mancozeb: past, present, and future. *Plant Disease* 94: 1076-1087.
6. Islam, W., Tauqeer, A., Waheed, A., Ali, H., Zeng, F. 2023. Silicon in plants mitigates damage against pathogens and insect pests. In: de Mello Prado, R. (eds) *Benefits of silicon in the nutrition of plants*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26673-7_19
7. Google Earth 2019. Google earth software ver. 2015. Consultado el 4 de octubre del 2019.
8. Kablan L, Lagauche A, Delvaux B, Legrve A. 2012. Silicon reduces black sigatoka development in banana. *Plant Disease* 96: 273-278.
9. Martínez-Bolaños L, Téliz-Ortiz D, Rodríguez-Maciel JC, Mora-Aguilera JA, Nieto-Ángel D, Cortés-Flores JI, Silva-Aguayo G. 2012. Resistencia a fungicidas en poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* del sureste mexicano. *Agrociencia* 46: 707-717.
10. Martins MB, Valente JP, Kobayasti L, Gasparatto L. 2007. Progreso da sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijiensis*) em bananeiras após a emissão do cacho no Município de Cáceres, Mato Grosso-Brasil. *Summa Phytopathologica* 33: 309-312.
11. Manzo-Sánchez G, Orozco-Santos M, Martínez-Bolaños L, Garrido-Ramírez E, Canto-Canche B. 2014. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa* sp.) en México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 32: 89-107.
12. Montgomery DC, Runger GC. 1996. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Ciudad de México, México. McGraw-Hill.
13. Patiño LF, Bustamante E, Salazar LM. 2007. Efecto de sustratos foliares sobre la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano (*Musa* × *paradisica* L.) y plátano (*Musa acuminata* Colla). *Agricultura Técnica*, 67, 437-445.

14. Ramouthar PV, Caldwell PM, McFarlane SA. 2016. Effect of silicon on the severity of brown rust of sugarcane in South Africa. *European Journal of Plant Pathology* 145: 53-60.
15. Rodrigues FA, Dallagnol LJ, Duarte HSS, Datnoff LE. 2015. Silicon control of foliar diseases in monocots and dicots. In *Silicon and plant diseases* (pp. 67-108). Springer, Cham.
16. Rodrigues-Dos Santos G, Delintro-de Castro Neto M, Nogueira-Ramos L, Almeida-Sarmiento R, Korndörfer GH, Ignácio M. 2011. Effect of silicon sources on rice diseases and yield in the State of Tocantins, Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy* 33: 451-456.
17. Shaner G, Finney RA. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 6: 1051-1056.
18. Vargas-Hernández JL, Rodríguez D, Sanabria ME, Hernández J. 2009. Efecto de tres extractos vegetales sobre la Sigatoka negra del plátano (*Musa* AAB cv. Hartón). *Revista Científica UDO Agrícola* 9: 182-190.
19. Wang M, Gao L, Dong S, Sun Y, Shen Q, Guo S. 2017. Role of silicon on plant-pathogen interactions. *Frontiers in Plant Science* 8: 1-14.
20. Yanar Y, Yanar D, Gebologlu N. 2011. Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on tomato by foliar sprays of liquid potassium silicate (K_2SiO_3). *African Journal of Biotechnology* 10: 3121-3123.

Contribución del silicio al crecimiento, rendimiento productivo y control de sigatoka negra en el cultivo de banano

Diego Ricardo Villaseñor-Ortiz^{1*}; Luis Felipe Lata Tenesaca^b

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Machala (UTMACH), 070223 Machala, El Oro, Ecuador;

²Departamento de Fitopatología, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 36570-090, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

*Autor de

Correspondencia:

Diego Ricardo Villaseñor-Ortiz
dvillaseñor@utmachala.edu.ec

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Villaseñor-Ortiz DR y Lata TLF. 2024. Contribución del silicio al crecimiento, rendimiento productivo y control de sigatoka negra en el cultivo de banano.

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 34
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2434>

RESUMEN

El estudio examinó el impacto de la aplicación foliar de silicio en el cultivo de banano. Se evidenció que el tratamiento con silicato de calcio ($1000 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$) estimuló el crecimiento saludable de plantas, fortaleciendo las paredes celulares con calcio y mejorando la resistencia a enfermedades con silicio. Además, los tratamientos con silicato de potasio y silicato de calcio redujeron la severidad de la sigatoka negra y mantuvieron hojas libres de enfermedades. En términos de producción, ciertos tratamientos mostraron un rendimiento superior en masa de racimo y longitud de dedo. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en masa de raquis, grado y número de manos.

Palabras clave: Banano; Silicio; Sigatoka Negra; Fertilización Foliar; Producción Agrícola, fitosanidad.

ABSTRACT

The study investigated the effect of foliar silicon application on banana cultivation. It was found that treatment with calcium silicate ($1000 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$) promoted taller and healthier plants due to calcium strengthening cell walls and silicon enhancing disease resistance. Furthermore, potassium silicate and calcium silicate treatments reduced black Sigatoka severity and kept leaves disease-free. In terms of production, specific treatments showed better performance in bunch mass and finger length. However, no significant differences were observed in rachis mass, grade, and number of hands.

Keywords: Banana; Silicon; Black Sigatoka; Foliar Fertilization; Agricultural Production, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano representa una de las actividades agrícolas más importantes en Ecuador, siendo el país líder en la exportación de esta fruta a nivel mundial. Sin embargo, la infección por patógenos ha sido el principal factor limitante del crecimiento y rendimiento de este cultivo (Bebber 2019). La sigatoka negra (causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*), causa la muerte prematura de grandes áreas de superficie foliar de la planta, reduciendo el área fotosintética activa y traslocación de fotoasimilados lo que resulta en menor crecimiento y desarrollo de la planta (Cook 2013). El uso intensivo de fungicidas químicos, métodos de control biológico y prácticas culturales de manejo son algunas de las estrategias disponibles para el manejo de la sigatoka negra (Nascimento *et al.*, 2020). Sin embargo, se deben proporcionar otras estrategias de control a los productores, para reducir el costo asociado a los fungicidas y sus efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente. El uso del silicio (Si) como estrategia prometedora para mejorar el crecimiento y la resistencia de las plantas contra la infección por patógenos ha despertado gran interés en los últimos años. Se ha demostrado que la aplicación de este elemento puede fortalecer la estructura epidérmica, activar el sistema de defensa antioxidante y promover la síntesis de compuestos fenólicos y lignina durante la infección por patógenos (Wang *et al.*, 2017).

Considerando la importancia del cultivo de banano en Ecuador y la necesidad de encontrar soluciones eficaces y sostenibles para enfrentar los desafíos que enfrenta la industria, el presente trabajo se planteó investigar el efecto de la aplicación foliar de distintas fuentes y dosis de Si en el cultivo de banano, sobre parámetros de crecimiento, resistencia a sigatoka negra y productividad del banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la granja experimental del campus Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), ubicada en la provincia de El Oro, Ecuador. La evaluación del experimento en el aspecto fitosanitario, abarcó desde junio de 2022 hasta enero de 2023; mientras que los efectos de los tratamientos relacionados a variables productivas y de desarrollo, fueron evaluados entre los meses de abril y mayo de 2023. El clima de la región se clasifica como sabana tropical (AW), y la temperatura media anual oscila entre 25 y 30 °C (Morán-Tejeda *et al.* 2016). El tipo de suelo pertenece al subgrupo Aquic Dystrudepts, de acuerdo con la clasificación de Villaseñor *et al.* (2015). El cultivar utilizado en el área experimental fue el *Musa* AAA, cv. "Williams" del subgrupo Cavendish. Los atributos físicos y químicos del suelo del

área experimental fueron analizados, con el fin de verificar la fertilidad del suelo. Todas las plantas recibieron dosis estándar de nutrientes, que consistieron en $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N, 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 , $700 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de K_2O .

La aplicación foliar de Si en la forma de ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$, en la forma silicato de potasio (K_2SiO_3) y silicato de calcio (CaSiO_3) fue evaluada en este estudio. Para la aplicación de silicatos de K y Ca fueron utilizadas fuentes comerciales comúnmente usadas en el sector. Se establecieron seis tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones: T1, Control; T2, $250 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ de Ácido monosilícico; T3, $500 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ de Ácido monosilícico; T4, $750 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ de Ácido monosilícico; T5, $1000 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ de K_2SiO_3 y T6, $1000 \text{ cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ de CaSiO_3 . Las dosis aplicadas fueron seleccionadas con base a la recomendación del producto para banano. Estas dosis y productos se aplicaron mensualmente a lo largo del periodo experimental utilizando un vehículo aéreo no tripulado (VANT-Dron), modelo AGRAS DJI T20 diseñado para aplicación de productos foliares en el cultivo de banano. Cada muestra evaluada consistió en plantas hijas de un metro de altura con una hoja funcional en estado F10. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA). Cada parcela o UE, tuvo dimensiones de $16 \times 3 \text{ m}$ de ancho, dentro de un marco de plantación $3,5 \times 2 \text{ m}$ y una población aproximada de $1430 \text{ plantas ha}^{-1}$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo biométrico del cultivo

Se puede observar que el tratamiento con CaSiO_3 a una dosis de 1000 cm^3 por hectárea resultó en plantas más altas, mayor diámetro del pseudotallo y número de hojas en comparación con los otros tratamientos.

Al aplicar CaSiO_3 a una dosis de 1000 cm^3 por hectárea, se suministra un aporte adicional de Ca y Si a las plantas, lo cual puede tener varios efectos benéficos (Cuadro 1). El Ca fortalece las paredes celulares, promoviendo un crecimiento más vigoroso y una mayor capacidad de soportar condiciones estresantes (Xu *et al.*, 2022). El silicio, por su parte, mejora la resistencia de las plantas frente a enfermedades, plagas y otros factores de estrés abióticos (Wang *et al.*, 2017), lo que contribuye a un crecimiento más saludable y una mayor altura promedio.

Es importante destacar que otros factores, como las características del suelo, el manejo agronómico y las condiciones ambientales, también pueden influir en los resultados del experimento. Sin embargo, la aplicación de CaSiO_3 a una dosis de 1000

cm³ por hectárea proporciona un suministro adicional de Ca y Si, nutrientes importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que podría explicar en parte el mejor desempeño de las variables de desarrollo observadas en ese tratamiento.

Cuadro 1. Variables de desarrollo de cultivo banano en experimento con dosis crecientes de Silicio en forma de ácido monosilícico y dosis de Silicato de potasio y calcio.

Tratamientos	Altura de planta (m)	Diámetro de pseudotallo (cm)	Número de hojas a la floración	Emisión foliar
Control	2,17 ab	75,71 b	14,83 b	0,59 a
Si(OH) ₄ 250 cm ³ ha ⁻¹	2,45 b	91,68 a	16,86 ab	0,63 ab
Si(OH) ₄ 500 cm ³ ha ⁻¹	2,57 ab	85,61 ab	16,18 ab	0,62 ab
Si(OH) ₄ 750 cm ³ ha ⁻¹	2,49 ab	90,78 a	17,25 ab	0,65 ab
K ₂ SiO ₃ 1000 cm ³ ha ⁻¹	2,58 ab	90,24 ab	17,23 ab	0,64 ab
CaSiO ₃ 1000 cm ³ ha ⁻¹	2,85 a	94,23 a	18,08 a	0,7 a
Prueba F	3,1*	0,96 ^{ns}	3,1*	3,8*
CV (%)	9,5	14,6	10,4	6,4

**significancia al 5% de probabilidad ($p < 0,05$); ns- no hay significancia debido a la variabilidad de datos prueba F; CV (%).

Niveles de infección de Sigatoka negra

Los tratamientos que utilizaron K₂SiO₃ y CaSiO₃ mostraron una menor severidad de la enfermedad en comparación con el tratamiento control. Específicamente, estos tratamientos tuvieron valores más bajos en la tercera y cuarta hoja, lo cual indica una menor afectación por la enfermedad. Sin embargo, se observó una excepción en el tratamiento de Si(OH)₄ a dosis de 750 cm³ por ha, el cual presentó valores más bajos en la hoja 4 en comparación con el tratamiento control. Estos resultados sugieren que el uso de silicatos puede ser efectivo para reducir la severidad de la sigatoka en el banano.

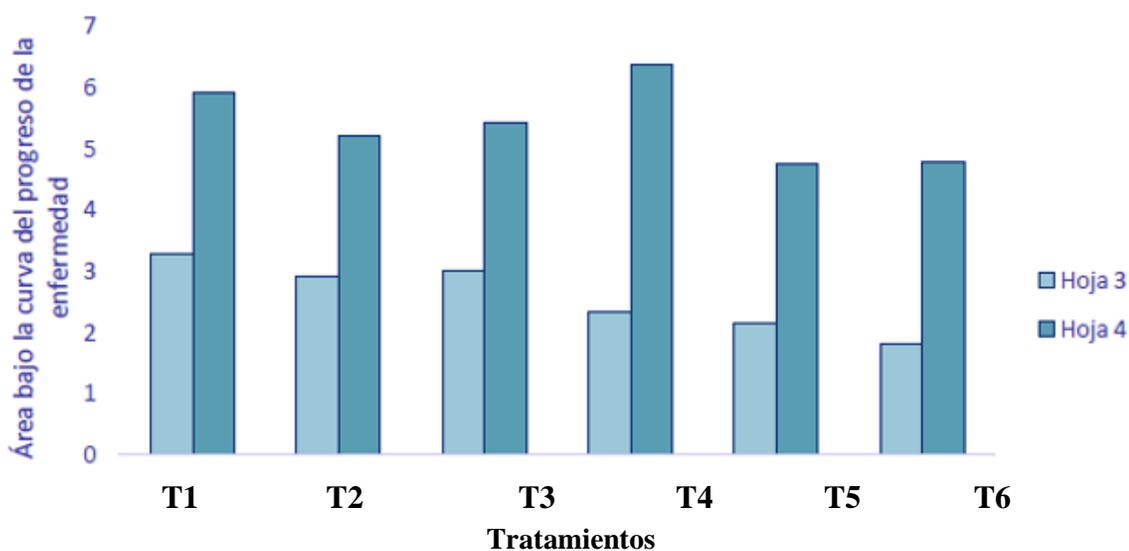


Figura 1. Área bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad de Sigatoka (ABCPE) para diferentes tratamientos. T1= Control; T2= $\text{Si}(\text{OH})_4$ 250 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T3= $\text{Si}(\text{OH})_4$ 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T4= $\text{Si}(\text{OH})_4$ 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T5= K_2SiO_3 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T6= CaSiO_3 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Hojas con estría y quema por afectación de Sigatoka negra

En cuanto a la variable Hoja Vieja Libre de Enfermedades (HVLE), se observó que los tratamientos con $\text{Si}(\text{OH})_4$ a diferentes dosis (250 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$, 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$) junto con K_2SiO_4 y CaSiO_4 a una dosis de 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$, presentaron valores ligeramente más altos que el Control (Figura 2).

En relación a la variable Hoja Vieja Libre de Quema (HVL), se puede evidenciar que todos los tratamientos presentan valores superiores al Control. Los tratamientos con K_2SiO_3 y CaSiO_3 a una dosis de 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ muestran los valores más altos, destacando el CaSiO_4 . Trabajos anteriores indicaron que la aplicación de Si disminuyó la severidad de la sigatoka en plantas de banano cultivadas en solución nutritiva (Kablan *et al.*, 2012; Freitas *et al.*, 2017).

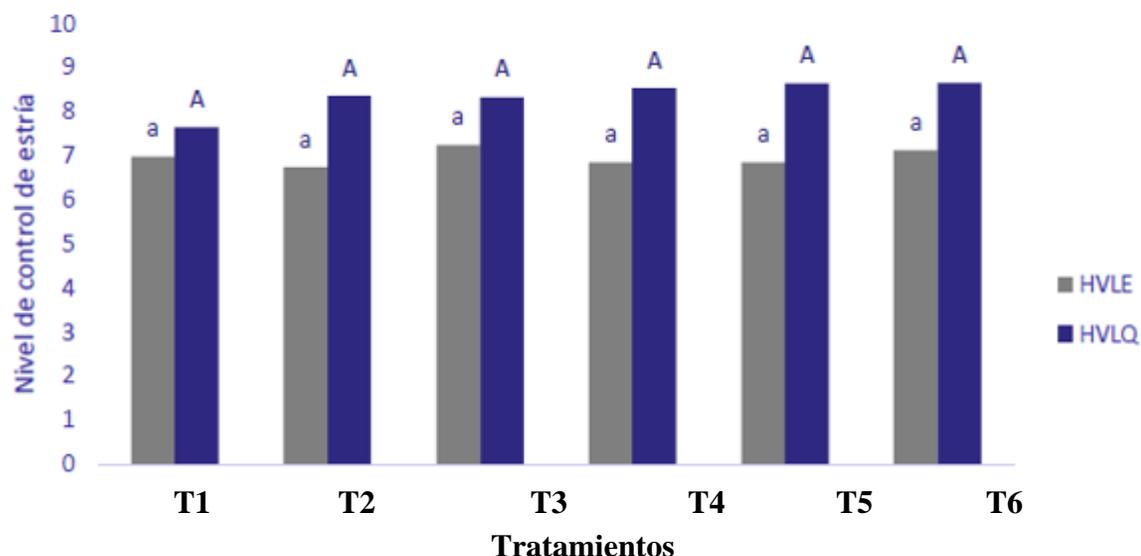


Figura 2. Niveles de control de estrías causadas por Sigatoka negra en hojas viejas libre de estrías (HVLE) y hojas hijas libres de quema (HVLQ). Letras similares significan que no hay diferencias entre las medias. T1= Control; T2= Si(OH)_4 250 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T3= Si(OH)_4 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T4= Si(OH)_4 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T5= K_2SiO_3 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$; T6= CaSiO_3 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Variables de producción

Los tratamientos con Si(OH)_4 a dosis de 250 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$, 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$, así como los tratamientos con silicato de potasio (K_2SiO_4) y silicato de calcio (CaSiO_4) a una dosis de 1000 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$, resultaron en una mayor masa promedio del racimo, oscilando entre 19,4 y 21,9 kg, en comparación con el control (15,9 kg) (Cuadro 2). Entre estos, los tratamientos con Si(OH)_4 a dosis de 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ mostraron los valores más altos. En particular, los tratamientos con Si(OH)_4 a dosis de 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ y 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ mostraron el mayor rendimiento en términos de masa del racimo (Cuadro 2).

No se evidenció diferencia significativa para los parámetros de masa del raquis, grado y número de manos, sugiriendo que estos aspectos particulares del cultivo de banano no se ven influenciados fuertemente por la aplicación de silicio, al menos en las condiciones y dosis de este experimento. El tratamiento Si(OH)_4 a una dosis de 500 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ resultó en la longitud de dedo más larga, y el tratamiento Si(OH)_4 a una dosis de 750 $\text{cm}^3 \text{ ha}^{-1}$ resultó en la longitud de dedo más corta. Los otros tratamientos, incluido el control, mostraron longitudes de dedo que no eran significativamente diferentes entre sí. Estos resultados sugieren que la dosis de silicio tiene un impacto en

la longitud del dedo en el cultivo de banano, aunque se necesitaría más investigación para confirmar este hallazgo y entender sus implicaciones.

Cuadro 2. Masa de racimo, del raquis, grado y longitud del dedo y número de manos como variables de producción bajo el efecto de distintas dosis y fuentes de silicio foliar.

Tratamientos	Masa Racimo (kg)	Masa Raquis (kg)	Grado	Longitud dedo (cm)	Número manos
Control	15,9 b	2,5 a	42,9 a	25,2 ab	5,5 a
Si(OH) ₄ 250 cm ³ ha ⁻¹	19,7 ab	2,5 a	43,1 a	24,4 ab	5,6 a
Si(OH) ₄ 500 cm ³ ha ⁻¹	21,6 a	2,9 a	42,3 a	25,4 a	6,0 a
Si(OH) ₄ 750 cm ³ ha ⁻¹	21,9 a	2,7 a	43,5 a	23,2 b	5,8 a
K ₂ SiO ₃ 1000 cm ³ ha ⁻¹	19,4 ab	2,5 a	43,3 a	24,0 ab	5,3 a
CaSiO ₃ 1000 cm ³ ha ⁻¹	19,8 ab	2,5 a	43,4 a	24,9 ab	5,9 a
Prueba de F	5,84**	0,68 ^{NS}	1,12 ^{NS}	3,57*	0,55 ^{NS}
CV %	9,0	16,2	1,9	3,6	11,8

Medias seguidas de la misma letra dentro del mismo tratamiento no difieren entre sí por la prueba de Tuckey al 5% de probabilidad.

CONCLUSIONES

El tratamiento con silicato de calcio se destacó en las variables mayor altura promedio de la planta y número de hojas. En cuanto al control de sigatoka negra, de modo general todos los tratamientos con Si mostraron su capacidad para reducir la severidad de la enfermedad, en particular en las hojas más viejas. Este hallazgo indica que el silicio puede jugar un papel significativo en el fortalecimiento de las defensas de las plantas contra patógenos. El rendimiento del cultivo se vio mejorado con el uso de Si(OH)₄ a dosis de 500 cm³ ha⁻¹ y 750 cm³ ha⁻¹ que resultaron en mayor masa de racimo y frutos más largos, respectivamente. En general, estos resultados sugieren que la aplicación de silicio en el cultivo de banano puede mejorar significativamente el crecimiento, control de enfermedades y rendimiento del cultivo. Estos hallazgos respaldan la utilidad del silicio como una herramienta potencial para mejorar la producción y la calidad del cultivo de banano.

REFERENCIAS

1. Bebber D. 2019. Climate change effects on Black Sigatoka disease of banana. *Phil. Trans. R. Soc. B* 374: 20180269.
2. Cook D, Liu S, Edwards J, Villalta O, Aurambout J, Kriticos D, Drenth A, Barro P. 2013. Predicted economic impact of black Sigatoka on the Australian banana industry. *Crop Protection* 51:48-56.
3. Freitas A, Pozza E, Eleva M, Silva H, Pérez C, Poza A. 2017. Severity of yellow Sigatoka in banana cultivated in silicon nutrient solution. *Australasian Plant Pathology* 46:515-520.
4. Kablan L, Lagauche A, Delvaux B, Legr B. 2012. Silicon Reduces Black Sigatoka Development in Banana. *Plant Dis.* 96:273-278.
5. Nascimento F, Sousa Y, Rocha A, Ferreira C, Haddad F, Amorim E. 2020. Sources of black Sigatoka resistance in wild banana diploids. *Revista Brasileira de Fruticultura* 42:1-10.
6. Villaseñor D, Chabla J, Luna E. 2015. Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro. *Cumbres* 1:28-35.
7. Wang M, Gao L, Dong S, Sun Y, Shen Q, Guo S. 2017. Role of Silicon on Plant–Pathogen Interactions. *Front. Plant Sci.* 8:1-14.
8. Xu T, Niu J, Jiang Z. 2022. Sensing Mechanisms: Calcium Signaling Mediated Abiotic Stress in Plants. *Front. Plant Sci.* 13:925863.

Uso innovador de fungicidas cúpricos en el control de Sigatoka negra y su acumulación en plantaciones de banano

Tomás Alejandro-Ahumada^{1*}; Bertha Callejas-Ruiz¹; Luciano Martínez-Bolaños²; Alberto Margarito García-Munguía; Misael Martínez-Bolaños⁴

^{*1}Investigación y Desarrollo región LATAM norte/México y CAM. Albaugh México. Retorno Alfonso Reyes. Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, México. ²Especialista en Fitosanidad Tropical. Unidad Regional Universitaria Sursureste. Universidad Autónoma Chapingo. San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco, México. ³Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Rosario Izapa, km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán., Tuxtla Chico, Chiapas, México.

*Autor de

Correspondencia:

Tomás Alejandro-Ahumada
talejandre@albaugh.com.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Alejandre-Ahumada T,
Callejas-Ruiz B, Martínez-
Bolaños L, García-Munguía
AM y Martínez-Bolaños M.

2024. Uso innovador de
fungicidas cúpricos en el
control de Sigatoka negra y
su acumulación en
plantaciones de banano.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):

35

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2435](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2435)



RESUMEN

Se realizaron aplicaciones de fungicidas cúpricos en una plantación de banano en Tabasco, México, con el objetivo de generar alternativas para el manejo de la Sigatoka negra y cuantificar su acumulación en hojas y suelo. Se utilizó un diseño experimental BCA, con cuatro repeticiones y 60 plantas por unidad experimental. Se evaluaron seis fungicidas cúpricos contra Sigatoka negra, y un testigo absoluto. Los fungicidas cúpricos presentaron un buen control de la Sigatoka negra en el cultivo del banano, con índices de severidad entre 8.0 y 14.4%, los cuales fueron estadísticamente diferentes al testigo (40.1%). La acumulación del cobre tanto en el follaje como en el suelo, se encontraron en niveles bajos o dentro del rango de suficiencia.

Palabras clave: *Mycosphaerella fijiensis*, Innovación, Tecnología, Sigatoka negra, Fitosanidad.

ABSTRACT

In order to develop an alternative tool to control black Sigatoka and to quantify its accumulation on banana leaves and soil, Copper fungicides were applied in a banana plantation at Teapa, Tabasco, México. The study was carried out under a completely randomized block experimental design. Six treatments were evaluated based on copper fungicides. The fungicides showed a good control of the disease on the banana plantation, with severity rates between 8.0 to 14.4 %, which were statistically different from the untreated control (40.1%). Leaves and soil copper accumulation were in low levels or in the sufficiency range.

Keywords: *Mycosphaerella fijiensis*, Innovation, Technology, black spot Sigatoka, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

La producción del cultivo del banano demanda un manejo integral, en especial, en la atención a la nutrición y problemas fitosanitarios; además debe atender los retos y desafíos que presenta la agricultura mundial. La Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) es la principal enfermedad que afecta el follaje del cultivo de las musáceas en el mundo, por lo que su manejo demanda aplicaciones semanales de fungicidas tanto de acción sistémica como protectante (Martínez-Bolaños *et al.*, 2012); sin embargo, durante los últimos años se ha cuestionado el uso intensivo de estos plaguicidas por su impacto al ambiente y a la salud humana. En ese sentido, se han generado alternativas a base de productos cúpricos con mucha expectativa, con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron determinar la efectividad biológica de fungicidas cúpricos en el control de la Sigatoka negra, y cuantificar su acumulación en el suelo y follaje de plantas de banano variedad Gran Enano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una plantación comercial de bananos, grupo Cavendish c.v. Enano Gigante, en la finca la Ilusión, en Teapa, Tabasco, México, durante 8 semanas en el mes de agosto a octubre del 2022. Se evaluaron seis fungicidas cúpricos contra Sigatoka negra, y se comparó contra un testigo, bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento (Cuadro 1). La unidad experimental fue una parcela de 10 m x 25 m, con 60 plantas. El estudio inició en plantas jóvenes de 1.0 a 1.1 m de altura, en donde se aplicaron los tratamientos al follaje de manera semanal, con una bomba aspersora motorizada marca Forza 818025 25 L 1HP de dos tiempos. La evaluación de la intensidad de la enfermedad se realizó cada 7 días durante ocho semanas continuas.

La severidad de la Sigatoka negra se evaluó con base a la escala propuesta por Stover modificada por Gahul (1994) donde: 0 = 0 % sin síntoma; 1 = < 1% rayas y/ o hasta 10 manchas; 2 = 1 – 5 % área foliar atacada; 3 = 6 – 15 %; 4 = 16 – 33 %; 5 = 34 – 50 %; 6 = > 50 %. El análisis de la severidad de la enfermedad se realizó con la transformación a porcentaje de infección y se usó la fórmula de Townsend y Heuberger. $P = [\sum(nv)/N*V]100$. Donde: P = Media ponderada de severidad; n = número de hojas en cada categoría; v = valor numérico de cada categoría; N = número total de hojas en la muestra; y V = valor de la categoría máxima.

Cuadro 1. Tratamientos asperjados en plantas de banano para el control de la Sigatoka negra.

Tratamiento	Tratamiento	Dosis
Novel COPper 6/ICC	Novel COPper 6/ICC	1.0 L/ha
NC 5/HIBIO P	Novel COPper 5/HIBIO penta	1.0 L/ha
Cloruro de calcio trifásico de cobre	Dartañan SC	1.25 L/ha
Hidróxido cúprico	Copérnico SC	1.25 L/ha
Sulfato de cobre pentahidratado	Mastercop	1.0 L/ha
Gluconato de cobre	Umbral	1.2 L/ha
Testigo Abs.	Testigo Absoluto	Testigo Absoluto

La eficacia biológica (EB) de los tratamientos se calculó con la ecuación de Abbott: $EB (\%) = [(A - B)/A]100$. Donde: A = % de infección en la parcela testigo después de haber aplicado en las demás unidades experimentales. B = % de infección en la parcela tratada después de la aplicación del fungicida. Los resultados se sometieron a análisis de varianza para determinar la diferencias entre tratamientos (ANOVA, $\alpha=0.05$) y una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$).

El estudio de la acumulación de cobre, en el follaje y el suelo, se realizó después de ocho aplicaciones. El muestreo foliar se realizó en 4 plantas por tratamiento; para ello se tomó una muestra de la parte media de la hoja (10 cm de ancho) desde la hoja dos hasta la nueve. El muestreo del suelo se realizó entre las plantas de banano tratadas, y se tomaron 200 g de la primera capa de suelo (5 cm). En cada tratamiento se tomaron cuatro muestras. El análisis del contenido de cobre se realizó en los laboratorios de la empresa GISENA S.A. de C.V. La determinación de nutrientes en las muestras, se realizó por espectrometría de emisión atómica de plasma de acoplamiento indirecto inductivo (ICP-OES).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio realizado en el cultivo de banano en el estado de Tabasco, México, durante la época de mayor presión de la enfermedad, indican que la aplicación de los fungicidas cúpricos presentaron un control de la severidad Sigatoka negra. Estos índices estuvieron directamente relacionados con el tiempo posterior a la aplicación de los tratamientos, la edad de la plantación, el tipo de fungicida aplicado, y las condiciones climáticas acumuladas durante el desarrollo del estudio. Los fungicidas cúpricos presentaron, durante 8 semanas de estudio (56 días), un control de la Sigatoka negra en el cultivo del banano, con índices de severidad entre 8.0 y 14.4%, mientras que el testigo presentó cerca del 40.1% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de tratamientos en la Severidad de la Sigatoka negra en el cultivo de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en Teapa, Tabasco, México. 2022.

Fungicida	Dosis (L ha ⁻¹)	Severidad de la Sigatoka negra (%)								
		0dd a	7dd a	14 dda	21dda	28dd a	35dda	42dd a	49dda	56dda
Novel COPper 6/ICC	1.0	2.1 a	6.7 a	5.7 c	7.0 c	6.5 c	6.2 c	5.9 c	6.9 c	9.6 c
NC 5/HIBIO P	1.0	4.3 a	6.7 a	7.5 b	8.5 b	8.0 bc	6.7 c	6.9 c	7.4 c	9.7 c
Cloruro de calcio trifásico de cobre	1.25	7.0 a	6.2 a	6.8 b	9.2 b	7.8 bc	8.7 b	8.6 b	9.4 b	12.1 bc
Hidróxido cúprico	1.25	5.5 a	6.5 a	7.5 b	8.9 b	7.5 bc	7.7 bc	8.8 b	6.8 c	9.4 c
Sulfato de cobre pentahidratado	1.0	4.7 a	6.6. a	7.7 b	9.1 b	9.0 b	9.1 b	8.7 b	10.6 b	13.9 b
Gluconato de cobre	1.2	6.1 a	6.7 a	8.0 b	8.7 b	8.7 b	11.2 b	8.9 b	10.3 b	14.4 b
Testigo Abs.	0	4.4 a	7.2 a	12.0 a	15.5 a	18.5 a	22.3 a	25.3 a	32.6 a	40.1 a

* Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Dda. Días después de la aplicación.

Análisis de Efectividad Biológica en el control de la Sigatoka negra. La efectividad biológica de los tratamientos para el control de la Sigatoka negra en el cultivo del banano, presentó un valor diferenciado a través del tiempo, el cual estuvo directamente relacionado con el tipo de producto aplicado. Los mayores índices efectividad biológica de los fungicidas, próximos al 70%, se presentaron a partir de los 42 días de la aplicación de los tratamientos, en especial con los fungicidas a base de hidróxido cúprico y el cloruro trifásico de cobre (Cuadro 3).

El estudio se realizó en la época de mayor presión de la enfermedad, con precipitaciones acumuladas semanales desde 43.18 hasta 287.02 mm; y una acumulación de lluvia de 1172 mm durante el periodo de estudio. Respecto, al análisis de fitotoxicidad de los tratamientos, no se observaron efectos de daños en el follaje de las plantas de banano durante el periodo de estudio y bajos las condiciones ambientales (precipitación) y cantidad de aplicaciones realizadas.

Cuadro 3. Efecto de tratamientos en la Severidad de la Sigatoka negra en el cultivo de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en Teapa, Tabasco, México. 2022.

Tratamiento	Dosis	Efectividad Biológica (%)							
		7dda	14 dda	21dda	28dda	35dda	42dda	49dda	56dda
Novel COPper 6/ICC	1.0	6.4 a	51.2 a	54.4 a	64.2 ab	72.0 a	76.7 ab	78.7 a	75.9 ab
NC 5/HIBIO P	1.0	6.4 a	36.0 c	44.6 bc	56.7 cde	69.8 ab	72.6 b	77.2 a	75.7 ab
Cloruro de calcio trifásico de cobre	1.25	13.8 a	42.5 abc	40.2 cd	57.7 cd	60.9 cde	66.0 c	71.2 b	69.7 c
Hidróxido cúprico	1.25	9.7 a	37.5 bc	42.2 c	58.9 bc	65.6 bc	65.3 c	79.2 a	76.6 a
Sulfato de cobre pentahidratado	1.0	7.2 a	35.4 c	41.2 cd	51.3 de	59.1 de	65.5 c	67.3 b	65.2 d
Gluconato de cobre	1.2	6.2 a	33.3 c	43.5 c	52.7 cde	49.7 fg	64.7 c	68.3 b	64.1 de

*Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). Dda. Días después de la aplicación.

El análisis químico foliar mostró que la mayor parte de tejidos presentaron niveles bajos de cobre o dentro del rango de suficiencia de este microelemento en el follaje después de 8 aplicaciones. Estos niveles detectados se encuentran por abajo del límite permitido en el cultivo de banano; sin embargo, los tejidos foliares tratados el sulfato de cobre pentahidratado mostró una concentración significativa de este microelemento (37.3 mg kg^{-1}); mientras que las aplicaciones de Cloruro de calcio trifásico de cobre e Hidróxido cúprico a dosis de 1.0 y 1.25 L ha^{-1} , presentaron 12.8 y $13.8 \text{ mg de cobre kg}^{-1}$ (Cuadro 3).

El cobre es un elemento esencial para la nutrición de las plantas, ya que es necesario para la constitución de enzimas catalizadoras de reacciones redox, y está involucrado en las funciones de fotosíntesis, por lo cual es muy importante su absorción, asimilación, traslocación, y movilización, tanto por el follaje como por el sistema radicular (Chiou and Hsu, 2019; Moreira *et al.*, 2022). En exceso, el cobre es fitotóxico ya que induce niveles altos de especies de oxígeno reactivo (ROS) y afecta la fotosíntesis, los cuales subsecuentemente reducen el rendimiento y calidad de los cultivos (Adrees *et al.*, 2015; Chiou and Hsu, 2019). Deo and Nayak (2021) indican que concentraciones superiores a 100 micromoles son tóxicas para las hojas del cultivo de banano.

Los análisis químicos de suelos muestran una acumulación entre 2.0 y 3.7 mg kg^{-1} en los primeros 5 cm de la capa de suelo. Esta acumulación se presentó después de ocho aplicaciones foliares de diferentes tratamientos para el control de la Sigatoka negra del banano, tanto en dosis como en tipo de fungicida; sin embargo, estos valores son mínimos a los reportados por Senkondo *et al.* (2014), en suelos contaminados en Tanzania, con niveles de cobre entre 85 y 415 mg kg^{-1} . El estudio y análisis de cobre realizado en los primeros 5 cm de profundidad del suelo, se sustenta a la baja movilidad de este elemento en el suelo; además el cultivo del banano desarrolla su sistema radicular en los primeros 10 cm de profundidad, por lo que cualquier efecto fitotóxico o absorción excesiva de este elemento se puede presentar en ese sentido. Así cantidades pequeñas de cobre pueden ser lixiviadas o lavadas constantemente hacia estratos inferiores del suelo.

Cuadro 3. Acumulación de cobre en follaje y suelo, por la aplicación de fungicidas cúpricos en plantas de banano grupo Cavendish cv Enano Gigante en Teapa, Tabasco, México. 2022.

TMT	Número de Hoja / Acumulación de cobre en el tejido foliar (mg kg ⁻¹)								Acumulación de cobre en el suelo (mg kg ⁻¹)
	2	3	4	5	6	7	8	9	
Novel COPper 6/ICC	16.7 a	11.2 b	13.4	12.8 a	18.2 a	16.1 a	18.0 a	20.1 a	2.0 b
NC 5/HIBIO P	14.2 a	14.8 ab	17.3 ab	14.6 a	20.4 a	18.0 a	15.4 a	13.5 a	2.6 ab
Cloruro de calcio trifásico de cobre	15.8 a	16.2 ab	14.0 b	15.8 a	12.9 a	16.2 a	21.3 a	12.8 a	3.5 ab
Hidróxido cúprico	14.5 a	19.8 a	22.5 a	14.5 a	17.0 a	15.9 a	19.7 a	13.8 a	2.9 ab
Sulfato de cobre pentahidratado	13.3 a	12.9 b	15.8 ab	13.5 a	18.2 a	21.5 a	19.8 a	37.3 a	2.4 ab
Gluconato de cobre	12.4 a	13.5 b	13.2 b	15.7 a	13.4 a	30.2 a	17.8 a	18.7 a	3.7 a
Testigo	19.4 a	13.9 ab	11.9 b	15.9 a	13.3 a	14.4 a	12.2 a	10.6 a	2.4 ab

* Valores con letras diferente en cada columna presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05). Nota: Rango de suficiencia de cobre en el follaje: 6 - 25 mg kg⁻¹.

CONCLUSIONES

Los fungicidas cúpricos presentaron un buen control de la Sigatoka negra en el cultivo de banano durante el período de estudio, con índices de severidad de la enfermedad entre 8 y 14 %.

Las dosis de los productos a base de cobre aplicados para el control de Sigatoka negra, en períodos con alta precipitación, no causaron toxicidad en el cultivo de banano; sin embargo, deben desarrollarse otros estudios para el período con bajo nivel de precipitación y medir su impacto en el cultivo.

Los fungicidas cúpricos después de ocho aplicaciones foliares, no presentaron acumulaciones significativas de cobre, tanto en el follaje como en el suelo del cultivo de banano, a excepción del sulfato de cobre pentahidratado.

REFERENCIAS

1. Adrees, M., Ali S., Rizan M., Ibrahim M., Abbas F., Farid M., Zia-ur-Rehman M., Irshad MK., and Bharwana SA. 2015. The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: A review. *Environment Science Pollution Research* 22:8148-8164.
2. Chiou WY and Hsu FC. 2019. Copper toxicity and prediction models of Cooper content in leafy vegetables. *Sustainability* 11(6215):1-18. doi:10.3390/su11226215
3. Deo B and Nayak PK. 2021. Investigating the copper phytotoxicity on *in vitro* culture of *Musa acuminada* cv. Bantala. *Cutting-edge Research in Agricultural Sciences* 13:16-23. <https://doi.org/10.9734/bpi/cras/v13/3015D>.
4. Martínez B. L., Teliz O. D., Rodríguez M. J.C., Mora A. J.A., Nieto Á. D., Cortés F. J. I., Mejía S. D., Nava D. C., Silva A. G. 2012. Resistencia a fungicidas en poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* del Sureste mexicano. *Agrociencia* 46:707-717
5. Senkondo YH, Tack FMG and Semi E. 2014. Copper accumulations in soils, coffee, banana, and bean plants following copper-based fungicides in coffee farms in Arusha and Kilimanjaro regions, Tanzania. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15(45): 2032-2045. <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.919312>
6. Stover, R. H. 1974. Effect of measured levels of Sigatoka disease of bananas on fruit quality and leaf senescence. *Tropical Agriculture* 51: 531-542.

Cobres con tecnología de alta biodisponibilidad (HiBio) para control de Sigatoka en banano aplicados con dron y medición de disipación

Bertha Antonia Callejas-Ruiz¹; Tomás Alejandro-Ahumada^{1*}; Alberto Margarito García-Munguía²; Luciano Martínez-Bolaños³; Argelia García-Munguía²; Misael Martínez-Bolaños⁴

*¹Investigación y Desarrollo región LATAM norte/México y CAM. Albaugh México. Retorno Alfonso Reyes. Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, Chihuahua, México. ²Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. ³Especialista en Fitosanidad Tropical. Unidad Regional Universitaria Sursureste. Universidad Autónoma Chapingo. San José Puyacatengo, Teapa, Tabasco, México. ⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Rosario Izapa, km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas, México.

*Autor de

Correspondencia:

Tomás Alejandro-Ahumada
talejandre@albaugh.com.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Callejas-Ruiz BA,
Alejandro-Ahumada T,
García-Munguía AM,
Martínez-Bolaños L.
García-Munguía A y
Martínez-Bolaños. 2024.

Cobres con tecnología de
alta biodisponibilidad
(HiBio) para control de
Sigatoka en banano
aplicados con dron y
medición de disipación.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):

36

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2436

RESUMEN

Se evaluó el fungicida DARTAÑAN 19.35 SC (Sulfato tribásico de cobre) para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y sigatoka amarilla (*M. musicola*) en el cultivo de banano y plátano, donde se evaluaron dosis de 1.0, 1.5 y 2.0 L ha⁻¹, así como el fungicida Dithane™ 600 en dosis de 1.75 L ha⁻¹ usando un equipo de Dron. De igual forma se evaluó la fitotoxicidad del producto. Se calculó la efectividad de los tratamientos obteniendo eficacias de control de 81.2, 80.8 y 86.4% en sigatoka negra; y 80.0, 81.3 y 87.4% en sigatoka amarilla en sus dosis evaluadas de 1.0, 1.5 y 2.0 L ha⁻¹, respectivamente. Así mismo, la disipación y persistencia de sulfato tribásico de cobre.

Palabras clave: Sigatoka, fungicida, dron, banano, Fitosanidad.

ABSTRACT

The fungicide DARTAÑAN 19.35 SC (Tribasic copper sulfate) was evaluated for the control of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) and yellow Sigatoka (*M. musicola*) in the banana crop, where doses of 1.0, 1.5 and 2.0 L ha⁻¹, as well as the reference element Dithane™ 600 at a dose of 1.75 L ha⁻¹ using a drone equipment. Likewise, the possible phytotoxicity of the product. The effectiveness of the treatments was calculated, obtaining control efficiencies of 81.2, 80.8 and 86.4% in black Sigatoka (*M. fijiensis*); and 80.0, 81.3 and 87.4% in yellow Sigatoka (*M. musicola*) in their evaluated doses of 1.0, 1.5 and 2.0 L ha⁻¹, respectively. Likewise the dissipation and persistence of Tribasic copper sulfate.

Keywords: Sigatoka, fungicide, drone, banana, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

La superficie de plátano en México es superior a 80 mil hectáreas con una producción de 2.5 millones de toneladas anuales, siendo los principales estados productores Chiapas, Tabasco y Veracruz (SIAP, 2022). Con estas cifras se posiciona como un cultivo de suma importancia en el país, además de considerar que solo prospera en climas determinados como lo son trópico-húmedo, subhúmedo y trópico-seco.

La sigatoka negra es una enfermedad causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* y es considerada mundialmente como una de las enfermedades más destructivas en las musáceas (Depaz-Molina, 2010), conjunta con Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*). Ambas producen necrosis foliar en las hojas de las plantas de plátano y banano, y por consiguiente los frutos no poseen las características necesarias para su consumo o para una efectiva actividad comercial (Depaz-Molina, 2010). El manejo primordial de esta enfermedad se basa en productos químicos, aunque Agrios (2005), menciona que el uso frecuente y repetido de fungicidas con frecuencia conduce al desarrollo de resistencia de éstos.

Las aeronaves fumigadoras son eficientes y con menos desperdicio de pesticidas, convirtiéndose en un equipo con un alto rendimiento de agroquímicos a medida que protege al medio ambiente. (Aguilar, 2018). La utilización de los drones ofrece una fumigación focalizada con precisión, mejorando la efectividad del pesticida, amigable con el medio ambiente y las personas en el entorno (Vargas Ramírez, 2018).

Es por ello de suma importancia la investigación en cuanto a fungicidas que ayuden al manejo de esta enfermedad, así como la realización de aplicaciones de forma más práctica. De este modo los objetivos del estudio son evaluar la eficacia biológica de un nuevo compuesto (Sulfato tribásico de cobre), comparado con un producto comercial (Dithane™ 600), determinando a su vez posibles reacciones fitotóxicas del fungicida aplicado mediante dron agrícola evaluando la persistencia y disipación de la aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en un huerto de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) variedad “Enano Gigante”, en Colima y Chiapas, México. Constando de dos estudios en conjunto.

Evaluación de fungicida para control de Sigatoka 1. Se evaluaron 3 tratamientos de DARTAÑAN 19.35 SC a diferentes dosis, un testigo comercial y un testigo absoluto: 1) DARTAÑAN 19.35 SC (1.0 L), 2) DARTAÑAN 19.35 SC (1.5 L), 3) DARTAÑAN 19.35 SC (2.0 L), 4) Dithane™ 600 (1.75 L), 5) Testigo sin aplicación. Todas las dosis fueron L / ha-1. Se realizaron 3 aplicaciones, a los 0, 7 y 14 días, asimismo se hizo una preevaluación y evaluación a los 7, 14 y 21 DD1A basándose en la escala visual de Stover modificada por Gauhl (1989).

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por tres hileras de plantas a tresbolillo a una distancia de 3 m entre ellas y 6 m de largo, quedando la unidad experimental de 54 m² y 216 m² por tratamiento. Durante el muestreo se eliminaron las dos hileras de las orillas y 0.5 m de cada extremo, quedando la parcela útil de una hilera de plantas de 3.0 m por 5.0 m de largo, equivalente a 15.0 m².

Se evaluó la variable severidad de la enfermedad a través del promedio ponderado de infección y se determinó la eficacia de los tratamientos esto mediante un análisis de varianza y prueba de Tukey (con $\alpha = 0.05$), mediante el paquete de análisis estadístico SAS®. Se calculó la efectividad biológica de los tratamientos mediante la prueba de eficacia de Abbott.

Medición de disipación de producto mediante aplicación con Dron 2. Para la aplicación de los fungicidas se utilizó un dron (Agras MG 1P) que cuenta con un tanque de 10 litros. Para el estudio de curvas de disipación se evaluaron dos dosis, 1.5 y 2.0 L / ha⁻¹. Se utilizó un diseño experimental en franjas con 1 repetición. La unidad experimental quedó constituida de 3 surcos de 3 m de ancho por 20 m de largo para un total 180 m². Se dejaron 5 metros de separación entre cada tratamiento. Se evaluó la persistencia de DARTAÑAN 19.35 SC a las 0, 2 y 4 horas después de la aplicación. Se realizó un muestreo al azar tomando una muestra por tratamiento a las 0, 2 y 4 horas después de la aplicación.

Para el análisis de la muestra se utilizó la siguiente metodología:

1. Se colocó la muestra del banano sin cáscara / con cáscara en un cristizador de vidrio. Se dejó la muestra durante una hora aproximadamente en la estufa a 90-100°C.
2. Se colocó la muestra junto con el cristizador de vidrio en el desecador para asegurar que se enfriara y no adquiriera humedad.
3. Se pesó y registró aproximadamente 1 gramo de muestra de la pulpa con y sin cáscara previamente secos en un vaso de precipitados de 250 mL

4. Se adicionó 150 mL de ácido cítrico al 10% (para análisis de contenido en pulpa); 10 mL de ácido nítrico para análisis digestión total de Cobre.
5. Se agitó en una parrilla con agitador por espacio 15 minutos, midiendo el tiempo utilizando el cronómetro (la muestra para análisis de contenido en pulpa).
6. Se colocó el filtro de plástico y el papel filtro, de manera que el filtrado desemboque en el matraz aforado de 250 mL. Se vació la solución agitada y fría sobre el papel filtro.
7. Al terminar de filtrar, Se enjuago el vaso de precipitados de 250 mL, con agua destilada y se vació, asegurándose de enjuagar todo el contenido del vaso y el contenido de papel filtro. Se aforó con agua destilada en matraz aforado de 100 mL.
8. Se realizó la lectura en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, bajo las siguientes condiciones:

Para análisis de cobre metálico

- a) Longitud de onda: 324.8 nm
- b) Slit (apertura): 0.5 mm
- c) Acetileno/aire (combustible/acarreador)
- d) Corriente de la lámpara: 4 mA
- e) Posición del quemador paralelo al haz de luz.
- f) Calibración con estándares de cobre: 5.0 ppm y 2.00 ppm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de fungicida para control de Sigatoka 1.

En el caso de sigatoka negra, todos los tratamientos mostraron diferencias significativas respecto al testigo absoluto, sin embargo, numérica y agronómicamente, el mejor resultado se obtuvo con el elemento de prueba DARTAÑAN 19.35 SC (Sulfato tribásico de cobre) a 2.0 L.ha⁻¹, ya que mostró porcentaje de **0.15%**, controlando con eficacia de **86.4%**, mientras que con la dosis de 1.0 y 1.5 L ha⁻¹ y con el elemento de referencia Dithane™ 600 en dosis de 1.75 L ha⁻¹, mostraron media de porcentaje de **0.21, 0.21 y 0.20%**, controlando con eficacias de **81.2, 80.8 y 81.8%**, respectivamente (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Comportamiento temporal del promedio ponderado de infección (PPI) de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano / plátano.

Tratamientos	Significancias del PPI de sigatoka negra			
	Preeval	1ra eval	2da eval	3ra eval
	03/03/2021	10/03/2021	17/03/2021	24/03/2021
T1. Testigo absoluto	0.61 A	0.62 A	1.04 A	1.09 A
T2. DARTAÑAN 19.35 SC (1.0 L.ha ⁻¹)	0.52 A	0.32 AB	0.33 B	0.21 B
T3. DARTAÑAN 19.35 SC (1.5 L.ha ⁻¹)	0.56 A	0.31 B	0.24 B	0.21 B
T4. DARTAÑAN 19.35 SC (2.0 L.ha ⁻¹)	0.55 A	0.23 B	0.21 B	0.15 B
T5. Dithane™ 600 (1.75 L.ha ⁻¹)	0.57 A	0.29 B	0.24 B	0.20 B

Cuadro 2. Efectividad biológica del fungicida DARTAÑAN 19.35 SC en el cultivo de banano / plátano.

Tratamientos	Eficacias Abbott (%)		
	1ra eval	2da eval	3ra eval
	10/03/2021	17/03/2021	24/03/2021
T1. Testigo absoluto	---	---	---
T2. DARTAÑAN 19.35 SC (1.0 L.ha ⁻¹)	47.6	68.7	81.2
T3. DARTAÑAN 19.35 SC (1.5 L.ha ⁻¹)	49.9	76.7	80.8
T4. DARTAÑAN 19.35 SC (2.0 L.ha ⁻¹)	62.7	80.2	86.4
T5. Dithane™ 600 (1.75 L.ha ⁻¹)	53.4	77.3	81.8

También para sigatoka amarilla todos los tratamientos mostraron diferencias significativas respecto al testigo absoluto, sin embargo, numérica y agronómicamente, el mejor resultado se obtuvo con el elemento de prueba DARTAÑAN 19.35 SC (Sulfato tribásico de cobre) a 2.0 L.ha⁻¹, ya que mostró porcentaje de **0.09%**, controlando con eficacia de **87.4%**, mientras que con la dosis de 1.0 y 1.5 L ha⁻¹ y con

el elemento de referencia Dithane™ 600 en dosis de 1.75 L ha⁻¹, mostraron media de porcentaje de **0.15, 0.14 y 0.11%**, controlando con eficacias de **80.0, 81.3 y 84.3%**, respectivamente (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Comportamiento temporal del promedio ponderado de infección (PPI) de sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) en el cultivo de banano / plátano.

Tratamientos	Significancias del PPI de sigatoka amarilla			
	Preeval	1ra eval	2da eval	3ra eval
	03/03/2021	10/03/2021	17/03/2021	24/03/2021
T1. Testigo absoluto	0.12 A	0.38 A	0.50 A	0.73 A
T2. DARTAÑAN 19.35 SC (1.0 L.ha ⁻¹)	0.17 A	0.22 AB	0.19 AB	0.15 B
T3. DARTAÑAN 19.35 SC (1.5 L.ha ⁻¹)	0.23 A	0.24 AB	0.14 B	0.14 B
T4. DARTAÑAN 19.35 SC (2.0 L.ha ⁻¹)	0.16 A	0.17 B	0.15 B	0.09 B
T5. Dithane® 600 (1.75 L.ha ⁻¹)	0.14 A	0.18 AB	0.18 AB	0.11 B

Cuadro 4. Efectividad biológica del fungicida DARTAÑAN 19.35 SC en el cultivo de banano/plátano.

Tratamientos	Eficacias Abbott (%)		
	1ra eval	2da eval	3ra eval
	10/03/2021	17/03/2021	24/03/2021
T1. Testigo absoluto	---	---	---
T2. DARTAÑAN 19.35 SC (1.0 L.ha ⁻¹)	41.5	61.2	80.0
T3. DARTAÑAN 19.35 SC (1.5 L.ha ⁻¹)	37.9	72.4	81.3
T4. DARTAÑAN 19.35 SC (2.0 L.ha ⁻¹)	55.9	69.4	87.4
T5. Dithane™ (1.75 L.ha ⁻¹)	52.8	63.1	84.3

No se presentaron efectos fitotóxicos en el cultivo de banano / plátano durante la evaluación del elemento de prueba DARTAÑAN 19.35 SC (Sulfato tribásico de cobre) en ninguna de sus tres dosis evaluadas.

Medición de disipación de producto mediante aplicación con Dron 2.

Durante el estudio se realizaron cosechas a los 0, 2 y 4 horas después de la aplicación con y sin cáscara. A las 0, 2 y 4 horas después de la aplicación en las muestras **Sin cáscara** de banano, la detección de residuos de Sulfato tribásico de cobre fue de < **LCL**. A las 0, 2 y 4 horas después de la aplicación en las muestras **Con cáscara** de banano, la detección de residuos de Sulfato tribásico de cobre fue de < **LCL**.

Cuadro 3. Detección del fungicida Dartañan 19.35 SC en banano.

Tratamiento	Número de parcela	Muestra	Detección Sulfato tribásico de cobre (ppm)		
			0 hda	2 hda	4 hda
DARTAÑAN 19.35 SC	101	Sin cáscara	0.0	0.0	0.0
DARTAÑAN 19.35 SC	101	Con cáscara	0.0	0.0	0.0
DARTAÑAN 19.35 SC	102	Sin cáscara	0.0	0.0	0.0
DARTAÑAN 19.35 SC	102	Con cáscara	0.0	0.0	0.0

CONCLUSIONES

El fungicida **DARTAÑAN 19.35 SC** (Sulfato tribásico de cobre) a dosis 1.0, 1.5 y 2.0 L ha⁻¹ mostró un control superior a lo establecido NOM-032.FITO-1995, con fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación del 11 de agosto del 2015

para el control de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) en el cultivo de banano / plátano.

El fungicida **DARTAÑAN 19.35 SC** no fue fitotóxico en el cultivo de banano / plátano a las dosis evaluadas 1.0, 1.5 y 2.0 L ha⁻¹.

Considerando los resultados obtenidos por medio de la metodología utilizada se observó que las detecciones obtenidas fueron exentas de **Sulfato tribásico de cobre** desde las 0, 2 y 4 horas después de la primera aplicación en el cultivo de banano.

REFERENCIAS

1. Agrios, GN. 2005. Plant Pathology. Elsevier Academic Press. Fifth Edition. Unites States of America. 922 pp.
2. Aguilar, J. (2018). Control de la sigatoka negra *Mycospaherella fijiensis* morelet con dos sistemas de atomización área en una finca orgánica. En Tesis de grado (pág. 22). Universidad Técnica de Machala. Tesis de grado, Universidad Técnica de Machala: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12425>
3. Depaz-Molina K. 2010. Resistencia de cuatro híbridos fhia de banano (*Mussa acuminata* x *balbisiana* Colla) A SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) EN SAHUAYACO, LA CONVENCION. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Antonio del Cusco, Cusco, Perú. 16 p.
4. Gauhl, F. 1989. Epidemiología y ecología de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en plátano (*Musa* sp.) en Costa Rica. Unión de Países Exportadores de Banano (Upeb), Ciudad de Panamá (Panamá). 114 p.
5. SIAP 2022. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consulta el 3 de noviembre del 2023.
6. Vargas Ramírez, N. (2018).
7. https://www.researchgate.net/publication/323583827_Antecedentes_del_uso_civil_comunitario_o_participativo_de_drones.

Aceite parafínico de origen renovable para el control de Sigatoka negra en plantaciones de bananeras

Diego Romero^{1*}; Benjamin Swoboda¹

¹TotalEnergies Fluids, campo experimental Monreri, La Rita, Guápiles, provincia de Limón, Costa Rica.

*Autor de

Correspondencia:

Diego Romero
diego.romero@totalenergies.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Romero D y Swoboda B.
2024. Aceite parafínico de
origen renovable para el
control de Sigatoka negra
en plantaciones de bananeras.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):

37

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2437

RESUMEN

Se han evaluado una serie de formulaciones de aceite de parafina renovables, no provenientes de origen fósil (léase hidrocarburos) para su uso como adjuvante de fungicidas en el control de Sigatoka negra en plantaciones de bananeras. Doce aplicaciones fueron programadas, comparando la formulación experimental renovable con el standard (fósil), manifestando un nivel de control igual, tanto a nivel de hoja más joven infectada, hoja más joven con estrías, cantidad final de hojas e índice de severidad de 49,7% y 48,4% vs 91,0% sobre el testigo no tratado. La economía en emisión de equivalentes CO₂ entre ambos orígenes es de aproximadamente + 745 Kg/T para el fósil contra -2500Kg/MT para aceite de origen renovable.

Palabras clave: *Musa* spp., *Pseudocercospora fijiensis*, aceite mineral, renovable, carbono neutral, CO₂ equivalente, Fitosanidad.

ABSTRACT

A series of renewable paraffin oil formulations, not of fossil origin (read hydrocarbons), have been evaluated for use as a fungicide adjuvant in the control of black Sigatoka in banana plantations. Twelve applications were programmed, comparing the renewable experimental formulation with the standard (fossil), showing an equal level of control, both at the level of youngest leaf infected, youngest leaf spotted, number of leaves and severity index, achieving 49.7% and 48.4% vs 91.0% over the control. The saving in CO₂ equivalent emissions between both sources is approximately + 745 Kg/T for fossil oil versus -2500 Kg/MT for oil of renewable origin.

Keywords: *Musa* spp., *Pseudocercospora fijiensis*, mineral oil, renewable, carbon neutral, CO₂ equivalent, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

Los aceites minerales derivados de petróleo han sido utilizados desde finales del siglo XIX, inicialmente como insecticidas y/o acaricidas en cultivos perenes, presentándose como emulsiones de kerosene para aplicación a la salida de la dormancia (Agnello, 2002). El aceite de petróleo se introdujo en el cultivo de banano para el combate de la Sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) a inicios de 1950s y cambio por completo las estrategias y la eficiencia en el combate de la enfermedad (Ganry J., Laville E. 1983). Un cambio trascendental fue la reducción del volumen de caldo a utilizarse por hectárea, iniciando con 2.571 L ha⁻¹ para mezcla bordelesa, y otros fungicidas acuosos como el Zineb, aplicados vía terrestre para pasar a mezclas de aceites de petróleo bajo el concepto de bajo volumen, para un total de 93,5 L ha⁻¹.

Con la llegada de la aplicación aérea en los años 1970s, los volúmenes de aplicación se vieron reducidos hasta llegar a aplicar 23 L ha⁻¹, practica aun utilizada en la actualidad, considerándose de Ultra Bajo Volumen, logrando niveles de control aceptables para la industria. Un nuevo episodio se abre posterior al acuerdo europeo denominado Green Deal de 2019 sobre el común acuerdo de países, empresas públicas y privadas al aceptar convertirse en carbono neutral a un horizonte 2050. En el caso particular de Europa, la Comisión Europea ha adoptado una serie de propuestas para que las políticas climáticas, energéticas, de transporte y fiscales de la UE sean las adecuadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos 55% de aquí a 2030, tomando como base el año 1990.

A nivel de emisiones de equivalentes CO₂ por parte de las diferentes industrias agroexportadoras, la actividad bananera si bien no es catalogada como de las principales emisoras, como es el caso de la ganadería con 60 KG CO₂ eq. por kilo de carne producido, forma parte de este grupo debido tanto a la intensidad en el consumo de agroquímicos y fertilizantes como por su distribución geográfica y su impacto en emisiones a través del transporte marítimo para arribar a los centros de consumo. Según estimaciones recientes (Poore, Nemecek 2018) la actividad bananera produce 0.8 Kg de equivalentes CO₂ por cada kg de banana producida, lo que puesto en perspectiva representaría para una economía que produce y exporta 100.000 T de bananas por año, algo así como 80.000 T de equivalentes CO₂ por año.

Una nueva tecnología basada en aceite de parafina de origen renovable, fuente alternativa al origen fósil del petróleo, viene a aportar una solución para reducir las emisiones de CO₂ y equivalentes por parte de la industria bananera, garantizando al mismo tiempo los mismos niveles de eficacia y selectividad ofrecidos por los aceites

de parafina de origen fósiles. El siguiente trabajo busca demostrar esta hipótesis, es decir la independencia del origen de un aceite de parafina sobre la eficacia y selectividad de este. El uso de aceites parafínicos de origen renovable se presenta como una solución integral, tanto a nivel agronómico como ambiental al contribuir positivamente a la reducción de gases a efecto invernadero en la cadena productiva, respondiendo de una manera directa al compromiso ambiental asumido por muchas de las compañías que operan en el mercado. Cabe destacar que tanto los insumos como procesos para la fabricación del aceite parafínico renovable son auditados externamente bajo el standard ISCC+ y que su LCA, análisis de Ciclo de Vida, es actualizado regularmente, al menos una vez al año, para dimensionar su aporte en términos de Kg CO₂ eq/T de producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el área experimental Monreri, ubicado en la Rita, Guápiles, en la provincia de Limón, Costa Rica. Se utilizaron plantas de banano de cultivo de tejidos de Grande Naine. La unidad experimental estuvo compuesta por 9 plantas de banano, sembradas en parcelas a 2,50 m entre plantas. El ensayo siguió un diseño completamente aleatorio, cada tratamiento se replicó tres veces. Las hileras fronterizas entre tratamientos se plantaron con *Musa textilis*, una variedad tolerante a la Sigatoka negra.

Todos los tratamientos se aplicaron utilizando una motobomba de espaldas para un volumen total de 23 L ha⁻¹. Los productos ensayados se aplicaron en una emulsión de aceite y agua utilizando una dosis de 5 L ha⁻¹ y un emulsionante de uso común en la industria de base alcohol graso etoxilado, a una concentración de 1% del volumen de aceite utilizado. La primera aplicación se realizó el 26 de noviembre de 2022 (semana 47) y el último el 30 de enero (semana 5). Se realizaron un total de 12 aplicaciones para todos los tratamientos.

A nivel de productos, dos formulaciones de aceite de parafina renovables han sido evaluadas (DEV2061 y DEV2065) en comparación con el aceite de parafina de origen fósil, actualmente disponible en el mercado (Cuadro 1).

Cuadro 1. descripción de los tratamientos

Tratamiento	Dosis (L ha ⁻¹)
1. DEV2061 (renovable)	5.0
2. DEV2065 (renovable)	5.0
3. Aceite comercial (Fósil)	5.0
4. Plantas no tratadas	---

Evaluación

Semanalmente se evaluaron las siguientes variables: hojas totales por planta, hoja más joven con estrías, hoja más joven con manchas y severidad de la enfermedad. Las evaluaciones de enfermedades fueron realizadas una vez que la primera hoja aplicada alcanzó la posición #4 y cada 7 días hasta dos semanas después de la última aplicación. La respuesta al tratamiento contra la Sigatoka negra se evaluó mediante la escala de Stover modificada por Gauhl.

El análisis estadístico se realizó con el programa INFOSTAT, mediante comparación múltiple prueba (DGC) para cada parámetro. Para el análisis estadístico, los parámetros evaluados se transformaron como Área bajo el curva (AUC). AUC es una operación matemática que representa la suma de cada parámetro evaluado, entre dos fechas de evaluación, multiplicado por los días entre las evaluaciones: $(X \text{ semana } 21 + X \text{ semana } 22) / 2 * \text{Días semana } 50 - 51$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índices como la hoja más joven infectada (YLI) y la hoja más joven manchada (YLS) son comúnmente utilizado por la mayoría de las empresas bananeras y productores independientes. En todas las figuras, el eje X representa la semana y el eje Y: YLI, YLS, número total de hojas o índice de gravedad de la enfermedad

Hoja más joven infectada (YLI) y hoja más joven con manchas (YLS). Los valores de YLI varían entre 4,5 y 4,8 para las formulaciones de aceite evaluadas (Cuadro 2). La figura 2 muestra que las formulaciones de aceites renovables y fósiles tuvieron una tendencia casi idéntica.

El análisis estadístico indica que no hubo diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas (b) sólo entre los tratamientos con aceite y las plantas no tratadas (a). Para el parámetro de la mancha foliar más joven (YLS), los resultados para las formulaciones oscilaron entre 5,4 a 5,8 (Cuadro 2). Como era de esperar, los resultados más bajos de YLS se obtuvieron en el grupo no tratado de plantas.

El resultado alto de Pr del análisis estadístico para YLS indica que la probabilidad de que los valores de YLS reflejen el efecto de los tratamientos fue muy baja: Pr= 0,2270 (Figura3, Cuadro 3).

Cuadro 2. Promedio de los parámetros de la enfermedad (no transformado a AUC-área bajo la curva)

Tratamiento	YLI	YLS	Numero de hojas	Severidad
1. DEV2061 (renovable)	4.6	5.5	6.7	0.79
2. DEV2065 (renovable)	4.5	5.4	6.9	0.96
3. Aceite comercial (Fósil)	4.8	5.8	7.1	0.79
4. Plantas no tratadas	4.2	5.2	7.1	1.38

Cuadro 3. Parámetros de la enfermedad evaluados, valores reportados como área bajo la curva (AUC).

Tratamiento	YLI	YLS	Numero de hojas	Severidad
	Pr: 0.0066	Pr: 0.2270	Pr: 0.5460	Pr: 0.0150
1. DEV2061 (renovable)	27376 b	267.7 a	427.1 a	49.7 a
2. DEV2065 (renovable)	26577 b	294.7 a	436.3 a	63.0 a
3. Aceite comercial (Fósil)	28477 b	296.0 a	448.4 a	48.4 a
4. Plantas no tratadas	24376 a	270.4 a	453.8 a	91.0 b

*Prueba de comparación múltiple (DGC): promedio con la misma letra no son estadísticamente diferentes (p=0.05).

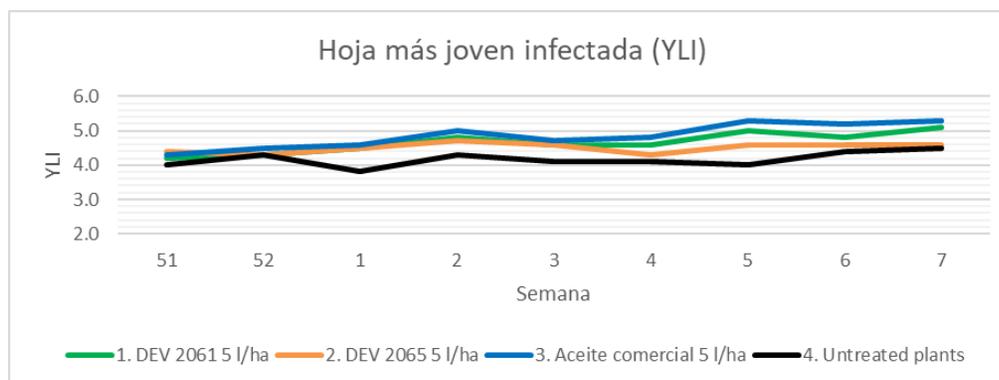


Figura 2. Hoja de banano más joven infectada (YLI).

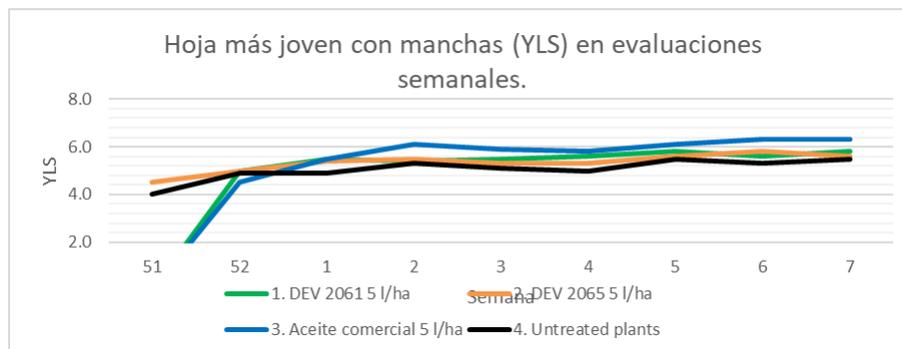


Figura 3. Hoja más joven con manchas (YLS)

Número total de hojas

El número promedio de hojas para todos los tratamientos osciló entre 6,7 y 7,1 hojas (Cuadro 2). Todos los tratamientos mantuvieron un número de hojas similar: sólo las plantas no tratadas tuvieron un número de hojas ligeramente menor en la semana #7 (Figura 4). El análisis estadístico indica que los tratamientos no tuvieron un efecto significativo en el parámetro número de hojas (Cuadro 3, $p=0.5460$).

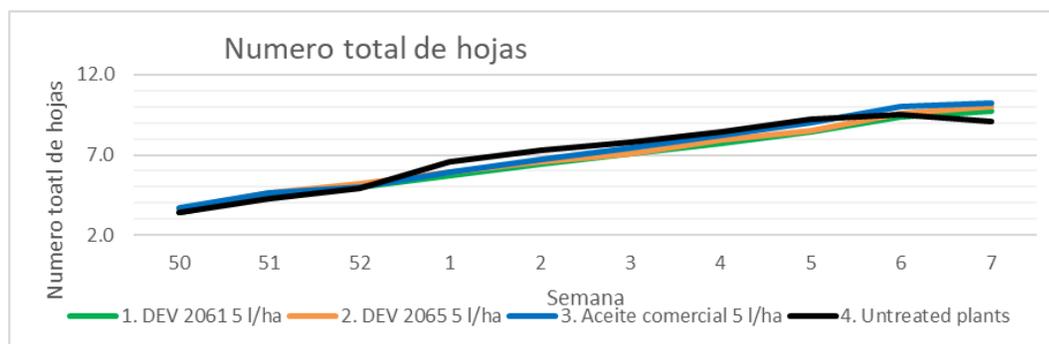


Figura 4. Número total de hojas de banano

Severidad de la enfermedad

Hubo condiciones de lluvia escasa durante el período de prueba (355 mm); sin embargo, la curva de la enfermedad de las plantas no tratadas muestra que hubo suficiente presión de la enfermedad para probar las formulaciones de aceite.

Desde las primeras evaluaciones, la gravedad de la enfermedad de DEV 2065 fue ligeramente superior a la de los otros tratamientos. Este comportamiento se mantuvo durante todo el período de prueba (Figura 5). Por otro lado, la gravedad de la

enfermedad de DEV 2061 y Aceite comercial fósil tuvo el mismo comportamiento: las evaluaciones semanales mostraron que su eficacia era idéntica: el promedio del índice de gravedad de la enfermedad de las diez evaluaciones fue el mismo (Figuras 5 y 6).

El análisis estadístico de la gravedad de la enfermedad separa los tratamientos en dos grupos (Cuadro 3):

- T.1 DEV 2061, T.2 DEV 2065 y T.3 Aceite comercial fósil se agruparon sin diferencias significativas entre ellos (a)
- Las plantas no tratadas se clasificaron solas (b) con diferencias significativas con los tratamientos con aceite

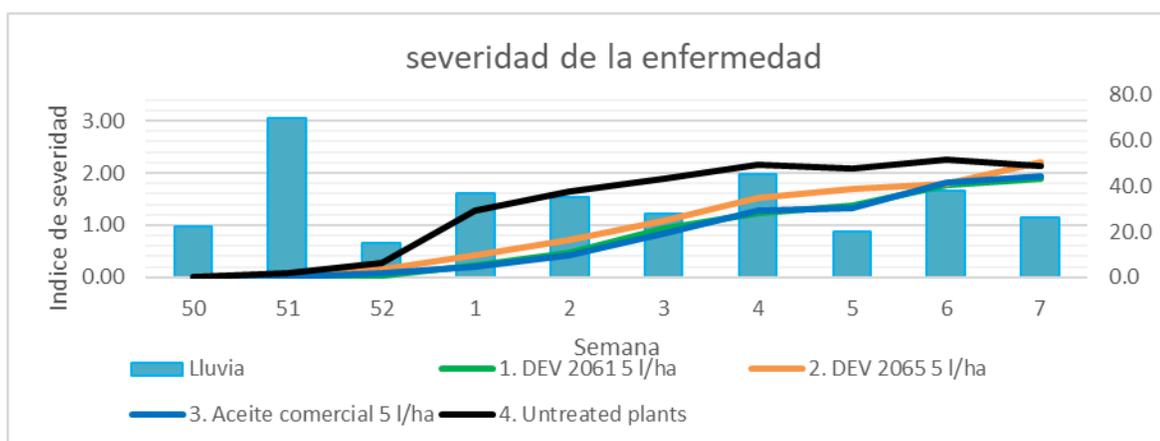


Figura 5. Severidad de la enfermedad en todos los tratamientos evaluados.

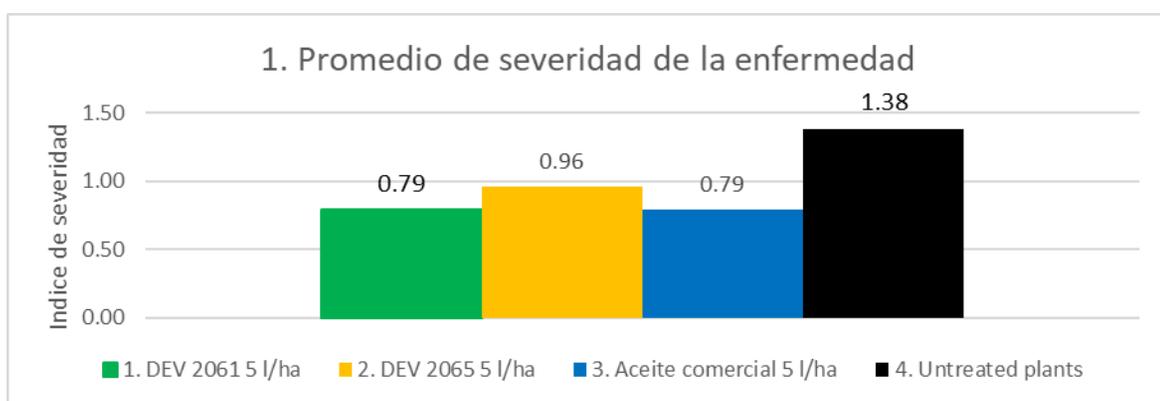


Figura 6. Promedio de severidad de la enfermedad en todos los tratamientos

CONCLUSIONES

Aunque no hubo diferencias significativas entre los aceites parafínicos DEV 2061, DEV 2065 y aceite comercial fósil, las evaluaciones semanales de la enfermedad mostraron que la formulación DEV 2065 tenía una mayor infección que las otras formulaciones.

La formulación renovable DEV 2061 y el aceite comercial de origen fósil tuvieron un efecto idéntico a nivel de control sobre *Pseudocercospora fijiensis*, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos.

Ninguna de las formulaciones de aceite parafínico, tanto fósil como renovable, produjeron síntomas de fitotoxicidad.

La formulación renovable de aceite de parafina, descrita como DEV2061, evidencia un nivel de control y selectividad idéntico que la oferta actual de origen fósil que encontramos actualmente en el mercado.

REFERENCIAS

1. AGNELLO A. 2002. Petroleum-derived spray oils: chemistry, history, refining and formulation. Libro. Spray oils beyond 2000: -2-1
2. GANRY J. – LAVILLE E. 1983. Cercosporiasis del plátano y sus tratamientos. Evolución de los métodos de tratamiento. 1) Tratamientos fungicidas. 2) Advertencia. Frutas, 38 (1): 3-20.
3. Poore, Nemecek 2018 Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science 360, 987–992.

Evaluación de Kata Spray Oil y Kata Control como coadyuvantes en el control de Sigatoka negra en micro leaf test

Arias Lopez, Omar^{1*}

¹Consultor Independiente para KATA UNO, S.A.

*Autor de

Correspondencia:

Arias Lopez, Omar
omar.arias@grupotierradecafe.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Arias LO. 2024. Evaluación de Kata Spray Oil y Kata Control como coadyuvantes en el control de Sigatoka negra en micro leaf test.

Acorbat Revista de

Tecnología y Ciencia 1(1):

38

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2438



RESUMEN

Se evaluaron los aceites isoparafínicos Kata Spray Oil y Kata Control en mezcla con fungicidas sistémicos y protectantes de uso común a nivel comercial en las plantaciones de banano, para determinar la efectividad en el control de Sigatoka. No se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos comerciales y las mismas dosis de Kata Control y Kata Spray Oil en mezcla con el fungicida sistémico en la hoja 1. En la Hoja 2, la eficacia de los tratamientos con los aceites Kata fue entre 20 y 27% mayor que los tratamientos comerciales de aceite con Fungicida sistémico, y 13% superior al tratamiento comercial de mezcla de sistémico y protectante. Además, se encontró que Kata Control y Kata Spray Oil aportan adicionalmente una mayor movilidad del fungicida sistémico evaluado.

Palabras clave: *Musa* spp., Sigatoka, aceite parafínico, Kata, coadyuvante, Fitosanidad.

ABSTRACT

In this trial, Kata Spray Oil and Kata Control isoparaffinic oils were evaluated in a mixture with systemic fungicides and protectants commonly used in banana plantations, to determine their effectiveness in controlling Sigatoka. No significant difference was obtained between the commercial treatments and the same doses of Kata Control and Kata Spray Oil mixed with the systemic fungicide on leaf 1. On Leaf 2, the effectiveness of the treatments with Kata oils was between 20 and 27% higher than commercial oil treatments with systemic fungicide, and 13% higher than the commercial treatments mixed with systemic and preventive fungicides. Also, it was found that Kata Control and Kata Spray Oil additionally provide greater mobility of the systemic fungicide evaluated.

Keywords: *Musa* spp., Sigatoka, isoparaffinic oil, Kata, adjuvant, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

M. fijiensis causa la Sigatoka Negra en las plantas de banano, esta especie de hongo es el miembro más destructivo del complejo de Sigatoka, el cual se desarrolla principalmente en zonas tropicales, cálidas y de baja altitud. Se considera que *M. fijiensis* es el patógeno más costoso y dañino del cultivo de banano a nivel mundial (Churchill, 2011).

La contribución del aceite mineral en el control de sigatoka es altamente significativa. El uso de aceite mineral fue inducido en el cultivo de bananos para controlar la Sigatoka amarilla a principios de la década de 1950 y cambió radicalmente las estrategias y la eficiencia en el control de la enfermedad (Guyot 1953; Guyot & Cuille 1954 a 1956; Meredith 1970). Con la aparición de la Sigatoka negra, se incrementó el uso de los aceites en mezcla con fungicidas del grupo de los inhibidores de la síntesis de esteroides, benzimidazoles y ditiocarbamatos (Stover y Simmonds, 1987). Por encima de ciertas dosis, el aceite agrícola posee un efecto fungistático sobre el desarrollo del patógeno (Jeger et al., 1995).

En Costa Rica, Romero (1995) encontró que la dosis de aceite de 110 y 220 L ha año mejoraron el control de la Sigatoka negra y propiciaron aumentos en rendimiento con respecto al testigo. Actualmente los aceites minerales agrícolas se utilizan de manera indispensable en la penetración de fungicidas sistémicos, así como bio fungicidas sistémicos que garanticen su acción dentro del sistema vascular, además se utiliza con formulaciones de mancozeb en formulación aceitosa, dando como beneficio su aporte fungistático. Las dosis de aceites agrícolas oscilan entre 3 a 8 L ha. Las regulaciones internacionales en cuanto al uso de ciertas moléculas de fungicidas, así como el riesgo de desarrollo de resistencia por el uso de fungicidas sistémicos, en un cultivo de exportación a mercados altamente exigentes como es el banano, hacen necesario el desarrollo de herramientas que permitan mejorar la efectividad de las aplicaciones. Kata transforma desechos de plásticos post industriales descartados mayormente por fincas agrícolas en aceites isoparafínicos biodegradables, de la más alta efectividad para el control de la Sigatoka.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se estableció en la Estación Experimental Biotech, situada en Río Jiménez de Guácimo, Limón, Costa Rica, a una altitud de 36 msnm. El área utilizada correspondió a rebrotes de plantas y conllevaron únicamente una fertilización granular

durante el desarrollo de la prueba. Las plantas utilizadas en cada uno de los tratamientos no habían tenido ninguna aplicación de fungicidas garantizando la máxima presión de enfermedad. El cultivar utilizado fue Gran Enano (cv. Grand Naine *Musa* sp. AAA).

Se utilizó microaplicador de baterías, marco para dibujar las áreas, regla métrica para medir los cuadros en las hojas de acuerdo a la metodología y equipo Mixer (mezclador de alta velocidad graduado a 700 rpms Myxer System Cole-Parmer OS 200).

Se evaluaron los aceites comerciales Orchex y Banole en mezcla con el fungicida sistémico Opus 12,5 SL (epoxiconazol 125 g) en comparación con los aceites Kata Spray Oil (100% aceite isoparafínico derivado de desechos plásticos post industriales) y Kata Control (95,5% aceite isoparafínico + 3,6% emulsificantes) en mezcla con la misma dosis de fungicida. Adicionalmente, se evaluaron los mismos aceites comerciales (Orchex y Banole) en mezcla con Opus 12,5SL (epoxiconazol 125 g) + Banazeb 60 SC (mancozeb 600g en formulación oleosa) en comparación con los aceites Kata Spray Oil y Kata Control en mezcla con las mismas dosis de fungicidas. El aceite Kata Control contiene emulsificante en su formulación, por lo que se mezcló directamente en agua junto con los fungicidas. Los demás aceites fueron emulsificados con Imbirex 80 SL (Alcohol graso etoxilado) (Cuadro 1).

El ensayo se estableció con un Diseño Completamente al Azar, con 8 tratamientos, cada uno con tres réplicas, en los que cada planta de banano fue una réplica. De cada planta, se seleccionaron las tres primeras hojas para la aplicación y evaluación. Las plantas empleadas en el ensayo tuvieron un mismo estado candela al momento de marcarlas para el experimento, la aplicación de las emulsiones se efectuó cuando dicha hoja candela llegó a ser hoja 1.

Todos los tratamientos fueron aplicados en las hojas 1, 2 y 3 de cada planta seleccionada, las mismas se demarcaron una semana previa al establecimiento de la prueba, garantizándonos el mismo estado fenológico de las hojas seleccionadas para la prueba. La emulsión fue aplicada en un área de 10x10 cm, la cual fue marcada previamente en la cara abaxial de las hojas mencionadas anteriormente. A cada lado de la zona aplicada con los insumos de interés, se dejaron dos testigos no tratados, cada área sin tratar fue de 5x10 cm (Figura 1). Se realizó una sola aplicación de los tratamientos.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en el ensayo para medir la eficacia biológica de los fungicidas en mezcla con los coadyuvantes en prueba.

Tratamiento	Producto	Dosis por hectárea
1	Aceite comercial 1 + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	7L + 0,8L
2	Aceite comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC+ Alcohol graso etoxilado 80 SL	7L + 0,8L
3	Kata Control (cont. emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC	7,2L + 0,8L
4	Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	7L + 0,8L
5	Aceite comercial 1 + + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	7L + 0,8L + 1,7L
6	Aceite comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	7L + 0,8L + 1,7L
7	Kata Control (cont. emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC	7,2L + 0,8L + 1,7L
8	Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC+ Alcohol graso etoxilado 80 SL	7L + 0,8L + 1,7L



Figura 1. Imagen descriptiva de las zonas tratadas y sin tratar a nivel de follaje según la metodología de Micro Leaf Test.

El progreso de la enfermedad fue evaluado cada tres o cuatro días después de la aplicación de los tratamientos en las hojas 1, 2 y 3 de cada planta, esto a partir de contar con síntomas en las áreas de evaluación. El progreso de la enfermedad en la hoja 1 permitió inferir sobre el efecto preventivo de los productos evaluados, los datos obtenidos en la hoja 2 fueron asociados con el potencial curativo de las emulsiones, mientras que la información recabada en la hoja 3 permitió observar el potencial de retención de síntomas de estas.

La primera evaluación de los tratamientos se realizó cuando iniciaron los síntomas en las áreas testigos. El análisis de datos de los resultados del Micro Leaf Test se realizó estimando la eficacia (%) de cada mezcla en cada una de las hojas (1, 2 y 3) evaluadas, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Eficacia(\%)} = \frac{(\text{Afectación en la parcela control (\%)} - \text{Afectación en la parcela tratada (\%)})}{\text{Afectación en la parcela control (\%)}} \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Hoja 1. Al aplicar los aceites en mezcla con los fungicidas de uso común, se obtuvieron datos de alta eficacia en cuanto al efecto preventivo. Los tratamientos con aceites Kata fueron entre 2 y 10% más efectivos que los comerciales en mezcla con Opus. Todos los tratamientos tuvieron una alta eficacia, y no se obtuvo diferencia significativa entre tratamientos al analizar el área bajo la curva de la eficacia en todo el ensayo.

Cuadro 2. Eficacia en hoja 1 de los tratamientos con dosis comerciales de aceite y fungicida.

Tratamientos	Evaluación								
	6	7	8	9	10	11	12	13	
1. Aceite comercial 1 + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	94,2	94,7	94,4	90,8	91,1	90,8	90,3	90,3	
2. Aceite comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC+ Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	100	100	98,0	95,6	92,4	92,4	91,3	
3. Kata Control (contiene emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC	100	100	100	100	100	100	100	100	
4. Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	100	100	100	100	100	100	100	
5. Aceite comercial 1 + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	100	100	100	100	100	99,6	99,0	
6. Aceite comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	100	100	100	100	100	100	100	
7. Kata Control (contiene emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC	100	100	100	100	100	100	100	100	
8. Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC+ Alcohol graso etoxilado 80 SL	98	98	98,5	98	94,3	93,3	93,3	93,3	

Hoja 2. La eficacia de los tratamientos con los aceites Kata en una etapa curativa fue entre 20 y 27% mayor que los tratamientos comerciales de aceite con Fungicida sistémico, y 13% superior al tratamiento comercial de mezcla de sistémico y protectante.

El aceite Kata Control fue entre 13 y 4% más efectivo que los tratamietnos comerciales en mezcla con sistémico y protectante, y Kata Spray Oil fue similar al aceite comercial 2, y alrededor de 10% superior al aceite comercial 1 en mezcla con fungicida sistémico y protectante. Pero la diferencia no fue significativa entre todos los tratamientos.

Cuadro 3. Eficacia en hoja 2 de los tratamientos con dosis comerciales de aceite y fungicida.

Tratamientos	Evaluación											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1. Ac. comercial 1 + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	98,0	91,5	79,2	88,8	82,5	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0	80,0
2. Ac. comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC+ Alcohol graso etoxilado 80SL	100	100	90,0	89,8	82,7	83,8	78,9	75,5	73,3	73,3	73,3	73,3
3. Kata Control (cont. emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4. Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	99,2	99,2	98,3	99,0	98,1	95,6	94,3	94,3	94,3	94,3	94,3
5. Aceite comercial 1 + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	99,3	98,3	91,7	88,3	87,4	87,2	87,3	87,3	87,3	87,3	87,3
6. Aceite comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	100	100	100	100	100	99,2	98,1	96,7	96,7	96,7	96,7
7. Kata Control (cont. emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC	100	100	100	100	100	99,3	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
8. Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC+ Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	99,3	97,8	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7	96,7

Hoja 3. El efecto erradicativo de los síntomas de la sigatoka se vio en la hoja 3, donde la eficacia del tratamiento de Kata Control fue entre 24 y 36% superior a los tratamientos comerciales en mezcla con Opus, y el tratamiento de Kata Spray Oil tuvo entre 12 y 22% más efectividad que los comerciales en mezcla con Opus. En las mezclas con fungicida sistémico + protectante, el aceite comercial 2 tuvo la mayor efectividad, seguido por el aceite comercial 1 y siendo muy similar (2-5% superior) al tratamiento con Kata Control. El tratamiento con Kata Spray Oil fue alrededor de 20% inferior a los aceites comerciales en mezcla con fungicida sistémico y protectante en la etapa más avanzada de la enfermedad.

Cuadro 4. Eficacia en hoja 3 de los tratamientos con dosis comerciales de aceite y fungicida.

Tratamientos	Evaluación											
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1. Ac. comercial 1 + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80SL	89,5	79,2	76,4	74,8	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3	73,3
2. Ac. comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC+ Alcohol graso etoxilado 80SL	94,9	82,6	82,7	82,9	78,3	64,3	63,9	64,3	64,3	64,3	64,3	64,3
3. Kata Control (cont. emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4. Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	89,3	90,0	87,6	86,7	86,7	86,7	86,7	86,7	86,7	86,7	86,7	86,7
5. Ac. comercial 1 + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	100	100	98,9	98,5	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0	98,0
6. Ac. comercial 2 + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC + Alcohol graso etoxilado 80 SL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
7. Kata Control (cont. emulsificante) + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC	100	100	100	100	98,0	96,2	96,5	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0
8. Kata Spray Oil + Epoxiconazol 12.5 EC + Mancozeb 60 SC+ Alcohol graso etoxilado 80 SL	86,7	85,7	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7	76,7

Adicionalmente, según se puede observar en las fotografías de las figuras 2 y 3, al aplicar el fungicida sistémico en mezcla con los aceites Kata, se obtiene una mayor movilidad del fungicida en la hoja, protegiendo no solamente el cuadro aplicado, sino

un área más allá hacia el borde de la hoja, sin desproteger las áreas cercanas a la nervadura de la hoja, lo que representa una ventaja para estos productos además de su eficacia.

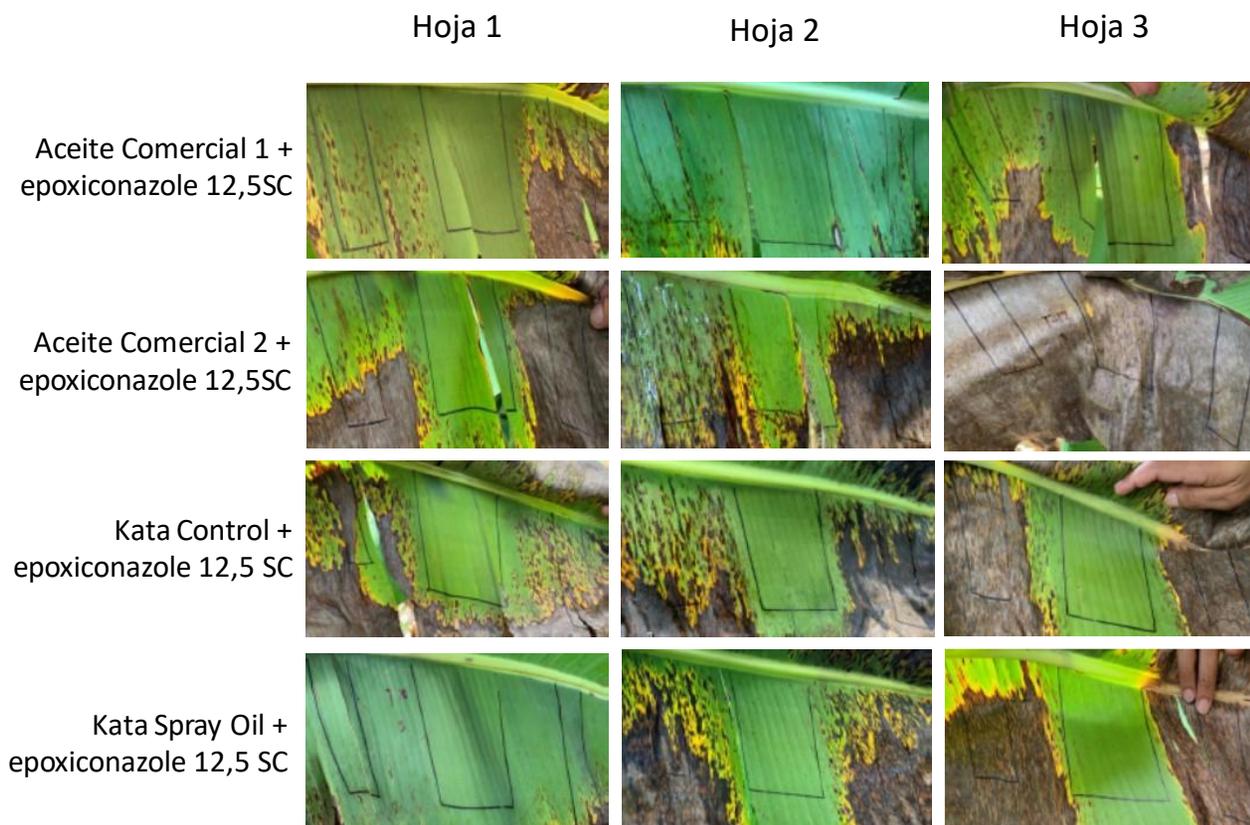


Figura 2. Fotografías de la severidad de Sigatoka en las hojas evaluadas con aplicación de dosis comerciales de fungicidas más aceite.

CONCLUSIONES

Los tratamientos aplicados con Kata Control en mezcla con los fungicidas tuvieron una eficacia mayor en el control de la sigatoka que los aceites comerciales, aunque las diferencias no fueron significativas estadísticamente.

Kata Control y Kata Spray Oil aportan adicionalmente al control de sigatoka, una mayor movilidad en la hoja del fungicida sistémico evaluado.

Se recomienda el uso de los aceites Kata Control y Kata Spray Oil en mezcla con los fungicidas de uso común para el control de la Sigatoka Negra en banano.

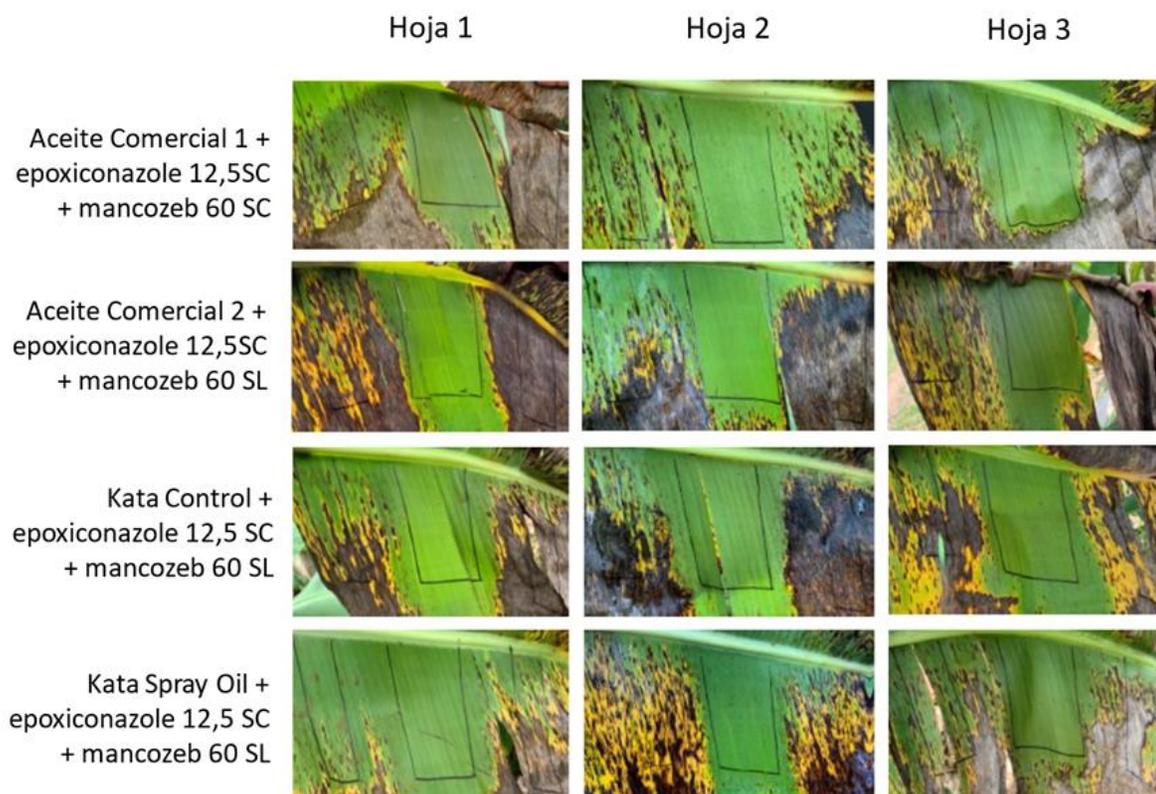


Figura 3. Fotografías de la severidad de Sigatoka en las hojas evaluadas con aplicación de dosis comerciales de fungicidas más aceite.

REFERENCIAS

1. Churchill AC. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Mol Plant Pathol.* 2011.
2. Cuillé, J. & Guyot, H. (1954). Importance of source of Spray oil for Sigatoka disease control and phytotoxicity to banana leaves. *Phytopathology* 54: 235-236.
3. Guyot, H. et Cuillé, J. (1954a). La lutte contra *Cercospora musae* dans les bananeraies de Guadeloupe. *Essais de nébulization*
4. Guyot, E. Guille, J. 1956. Fungicidal treatments of banana plantations. III. Practical results obtained in Guadeloupe from applications in oil as light mists. *Fruits d'Outre Mer.* 11: 141-50
5. Jeger, M. J., Eden-Green, S., Thresh, J. M., Johanson, A., Waller, J. M., & Brown, A. E. (1995). Banana diseases. In *Bananas and plantains* (pp. 317-381). Dordrecht: Springer Netherlands.
6. Meredith, 1970. Banana leaf spot disease (Sigatoka) caused by *Mycosphaerella musicola* leach. Commonwealth Mycological Institute, Kew.
7. [Stover](#), R.H., [Simmonds](#), N. W., 1987. Bananas. Libro. Segunda ed. Universidad de Wisconsin – Madison.

Validación de la técnica qPCR con sonda TaqMan para el diagnóstico de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Raza 4 Tropical

Lervin Hernández Ramos¹; Angel Ramírez Suárez¹

¹Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal. Tecámac, Estado de México.

*Autor de

Correspondencia:

Lervin Hernández Ramos
lervin.hernandez@senasica.gob
.mx

Contribución:

Científica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Hernández RL y Ramírez
SA. 2024. Validación de la
técnica qPCR con sonda
TaqMan para el diagnóstico
de *Fusarium oxysporum* f.
sp. *ubense* Raza 4
Tropical. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 39
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2439](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2439)

RESUMEN

Fusarium oxysporum f. sp. *ubense* Raza 4 Tropical es el agente causal de la marchitez en musáceas. En México es una Plaga Cuarentenada no presente, bajo vigilancia activa. Recientemente, el patógeno se reportó en Colombia, Perú y Venezuela; como respuesta ante estas detecciones, en el CNRF se validó la técnica de qPCR para la detección del gen que codifica una proteína hipotética con sonda TaqMan. Los parámetros evaluados fueron: límite de detección (LOD): 0.00005 ng, sensibilidad 93.75 % de detectar verdaderos positivos. Especificidad 86 % con Cq < 33, 16% sin Cq Cutoff. Repetitividad con un coeficiente de variación 3.18 %. Tasa de falsos positivos 1.56 %. Tasa de falsos negativos 8.33%. Reproducibilidad con un coeficiente de variación 3.07 %.

Palabras clave: FocTR4, qPCR, Validación, Fitosanidad.

ABSTRACT

Fusarium oxysporum f. sp. *ubense* Race 4 Tropical is the causal agent of wilt in musaceae. In Mexico it is a Quarantined Pest not present, under active surveillance. Recently, the pathogen was reported in Colombia, Peru and Venezuela. In response to these detections, the qPCR technique for gene coding for a hypothetical protein with the TaqMan probe was validated at the CNRF. The parameters evaluated were: limit of detection (LOD): 0.00005 ng, sensitivity 93.75% to detect true positives. Specificity 86% with Cq < 33, 16% without Cq Cutoff. Repeatability with a coefficient of variation 3.18%. False positive rate 1.56%. False negative rate 8.33%. Reproducibility with a coefficient of variation 3.07%.

Keywords: FocTR4, qPCR, Validation, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El plátano, como cultivo, es uno de los frutales más importantes a nivel mundial en términos de producción y comercio; y de manera global se encuentra entre los diez alimentos básicos (Dita *et al.*, 2018). Históricamente, entre las principales limitaciones fitosanitarias en la producción de musáceas se encuentran las enfermedades; de ellas, la marchitez por *Fusarium* (anteriormente conocida como “mal de Panamá”) causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). Es considerada la primera enfermedad grave que afectó a los plátanos producidos para el comercio de exportación, causando grandes pérdidas económicas (O'Donnell *et al.*, 1998).

La raza 1 de Foc causó una de las peores epidemias vegetales de la historia y diezmó la industria comercial del plátano Gros Michel en Centroamérica durante la década de los 50's. Como resultado, dicho cultivar fue reemplazado por clones del subgrupo Cavendish resistentes a la raza 1, que ahora son cultivados tanto en la industria de exportación como nacional y de subsistencia, y representan el principal cultivar en superficie y producción a nivel mundial (García *et al.*, 2019).

En 1990 se reportó una nueva variante de Foc que afectó severamente a clones del subgrupo Cavendish en condiciones tropicales y subtropicales en el sureste asiático, al que se le denominó Raza 4 Tropical (R4T), asociada al grupo de compatibilidad vegetativa (VCG) 01213/16 (Mostert *et al.*, 2017). Por más de 20 años, la enfermedad estuvo confinada al sur y sureste de Asia y el norte de Oceanía, sin embargo, reportes recientes han confirmado su presencia en Colombia, Perú y Venezuela.

Debido a que el hongo es considerado como uno de los más destructivos en las musáceas (plátanos y bananos) (Dita *et al.*, 2018), su ingreso y dispersión en áreas donde no se encuentra presente representa un peligro inminente para la industria bananera de América Latina y el Caribe. En México, el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Foc R4T) se considera una plaga cuarentenaria ausente. Por tal motivo, para tener métodos de detección y diagnóstico exactos, en el CNRF se validó internamente la técnica de Reacción de Cadena de la Polimerasa (PCR) en su modalidad cuantitativa con sonda TaqMan, con los iniciadores y sonda reportados por Aguayo *et al.*, 2017, para la detección y diagnóstico de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico. Se utilizaron seis aislamientos distintos de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (3 de raza 1 y 3 de raza 2) de la colección de hongos fitopatógenos del Laboratorio de Micología del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (CNRF), así como otros hongos (*Fusarium solani*, *Colletotrichum musae* y *Alternaria alternata*) y una bacteria (*Ralstonia solanacearum*) que están asociados a Plátano. Para la matriz se utilizaron haces vasculares del cultivar “largo” con síntomas de necrosis interna, proveniente de Jaltocán, Hidalgo y con dictamen positivo a *F. oxysporum* f. sp. cubense raza 1. Así como, dos muestras con dictamen negativo a Foc R1, R2 y R4, una de ellas del grupo Cavendish denominado “enano gigante” proveniente de Tuxtla Chico, Chiapas, y un cultivar “manzano” de Santiago Ixcuintla, Nayarit.

Para la extracción de ADN del tejido vegetal se utilizó el método de extracción CTAB (Doyle y Doyle, 1987), mientras que para los cultivos puros de hongos se utilizó la metodología propuesta por Cenis (1992). Para estimar la concentración de ADN (ng/μL) y determinar la pureza mediante las absorbancias $A_{260/280}$ y $A_{260/230}$ se utilizó un espectrofotómetro NanoDrop™ 2000c de Thermo Scientific™ de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Para verificar que el ADN extraído fue óptimo para ser amplificado y no existían inhibidores de la reacción, se realizó un ensayo de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) con gen endógeno. Para las extracciones de tejido vegetal se utilizaron los primers CLPL que amplifican una región no codificante del cloroplasto; para las extracciones de cultivos monospóricos se usaron los iniciadores propuestos por Edel *et al.* (1995) que amplifican el espaciador intergénico del ADN ribosomal.

Para los ensayos de qPCR específica se utilizaron los iniciadores y sonda propuestos por Aguayo *et al.*, 2017 basados en la detección del gen que codifica una proteína hipotética (HP) asociada a virulencia de Foc R4T. Los parámetros evaluados fueron límite de detección (LOD), sensibilidad, especificidad (exclusividad), repetibilidad y reproducibilidad. Se consideró como límite de detección a la dilución más baja que generó un valor de C_q y curva sigmoidea completa, en la cual el 80% de las réplicas evaluadas sean detectadas como positivas. Se llevó a cabo la amplificación qPCR con el control positivo en diluciones seriadas con factor de dilución en base 10, quedando [500 ng/rxn], [50 ng/rxn], [5 ng/rxn], [0.5 ng/rxn], [0.05 ng/rxn], [0.005 ng/rxn], [0.0005 ng/rxn] y [0.00005 ng/rxn].

Se realizaron dos tipos de ensayos, el primero utilizando las diluciones del control clonado, mientras, el segundo consistió en las mismas diluciones del control clonado,

pero estas fueron enriquecidas con 50 ng / rxn (equivalente a 2 ng / μ L) de extracción ADN de plátano cv “manzano” para simular la matriz original. Para cada modalidad, se realizaron tres ensayos con tres técnicos, con cuatro replicas por dilución. Se calculó la media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, regresión lineal de la recta, eficiencia de la reacción y R². Se realizó análisis de varianza ANOVA ($\alpha=0.01$) de un solo factor para determinar si hubo diferencias entre matrices. Para LOD el criterio de aceptación fue la dilución con $\geq 80\%$ de detección de verdaderos positivos.

Ensayo de sensibilidad. Se llevó a cabo la amplificación qPCR con el control positivo en la dilución de [0.00005 ng/rxn]. En una primera serie de ensayos se utilizó únicamente el control clonado de manera pura, en una segunda serie cada muestra fue enriquecida con 50 ng / rxn (equivalente a 2 ng / μ L) de extracción ADN de plátano “manzano” para simular la matriz original. Cada serie consistió de tres ensayos con tres técnicos para cada matriz, incluyendo un total de 60 réplicas de verdaderos positivos. Se determinó el coeficiente de variación y se hizo un análisis de varianza de dos factores (significancia 0.01) para determinar diferencias entre control clonado, matriz y técnicos. Se consideró como muestra positiva aquellas con Cq < 33.

Especificidad. Se llevó a cabo la amplificación qPCR en dos ensayos independientes a las concentraciones de [5 ng / rxn] y [0.005 ng / rxn], incluyendo los distintos organismos, cada ensayo se realizó independiente por tres técnicos, incluyendo cuatro replicas por cada especie, conformando en total 24 repeticiones de verdaderos positivos y 240 réplicas de verdaderos negativos. El porcentaje de especificidad se calculó en dos modalidades, incluyendo el Cq cutoff < 33 e independiente sin incluir un valor Cq limite (cualquier muestra que generó un valor Cq se consideró positiva).

Repetibilidad. Se llevó a cabo la amplificación qPCR en cuatro ensayos independientes por el mismo técnico, bajo condiciones iguales de equipos, reactivos, laboratorio y muestras, en periodos cercanos de tiempo en días. Se incluyó el control positivo, dos controles negativos (Foc R1 y R2), el control de matriz y control de reactivos (NTC), cada uno con cuatro replicas, todo ello en 3 concentraciones [25 ng / rxn], [0.05 ng / rxn], [0.0005 ng / rxn], dando un total de 60 muestras por cada ensayo y un gran total 180 muestras por los tres ensayos. Se realizó un ANOVA ($\alpha=0.01$) para determinar si hubo diferencias significativas de los resultados obtenidos para los controles positivos entre ensayos.

Reproducibilidad. Se llevó a cabo la amplificación qPCR en cinco ensayos independientes realizados por distintos técnicos, bajo condiciones diferentes de equipos, reactivos, laboratorios y en periodos espaciados de tiempo en días o semanas.

Se incluyó el control positivo, dos controles negativos (Foc R1 y R2), el control de matriz y control de reactivos (NTC), cada uno con cuatro replicas, todo ello en 3 concentraciones [25 ng / rxn], [0.05 ng / rxn], [0.0005 ng / rxn], dando un total de 60 muestras por ensayo y un gran total de 300 muestras. Se realizó un ANOVA ($\alpha=0.01$) para determinar si hubo diferencias significativas de los resultados obtenidos para los controles positivos entre ensayos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó como LOD la concentración de 0.00005 ng / rxn (equivalente a 2 fg / μ L, igual a 10294 copias de plásmido por tubo) con un porcentaje de detectar verdaderos positivos en el 83 % de los casos. El LOD determinado aquí es menos sensible al reportado por Aguayo *et al.*, (2017) quienes reportan una sensibilidad de hasta 24 copias de plásmido por reacción con una respuesta positiva del 94 %. La diferencia en los resultados puede ser debida a que en los ensayos no evaluamos las diluciones seriadas siguientes [0.000005 ng / rxn] y [0.0000005 ng / rxn], siendo esta última la que genera un resultado similar de 103 copias por reacción.

En ninguna dilución hubo diferencias significativas entre los ensayos del fragmento clonado y la muestra enriquecida con ADN del hospedante ($p = 0.24$), por lo tanto, existe evidencia de que el genoma del plátano no afecta la eficiencia de amplificación, esto concuerda con lo reportado por Aguayo *et al.*, 2017 quienes no encontraron diferencias al diluir el plásmido en agua o ADN de banano ($p = 0.29$), concluyendo que no hubo una interacción significativa entre la concentración logarítmica del plásmido y la matriz de fondo.

Los valores obtenidos de la pendiente (m) calculada por regresión lineal y que es utilizada como un indicador de la eficiencia de amplificación (E) de la qPCR estuvieron dentro de los intervalos óptimos de eficiencia entre 90 – 110 % (Figura 1) (excepción un ensayo E = 87.7), lo que indica que el número de moléculas objetivo se duplicó exactamente en cada ciclo de amplificación. El coeficiente de correlación R2 fue mayor a 0.99 en cinco de seis ensayos (excepto 0.904), lo que indica que los datos se ajustan bien al modelo empleado.

Respecto a sensibilidad. Se determinó que fue del 93.75% en 120 réplicas de verdaderos positivos evaluados cercanos al LOD 0.00005 ng / rxn. La interacción entre matriz y técnico no fue significativa ($P = 0.18$), mientras que si hubo diferencias entre técnicos ($p = 0.0003$) y entre ambas matrices ($p = 0.0006$), lo que representa que existieron algunas diferencias encontradas en la magnitud de los valores de C_q , dando una ligera pérdida de sensibilidad para el ADN plasmídico diluido en agua, en contraparte, Aguayo et al., 2017 reportan que la ligera pérdida de sensibilidad fue en la matriz del hospedante plátano; sin embargo, para fines prácticos de diagnóstico estas diferencias de C_q no representan un criterio limitante para determinar si una muestra es positiva o negativa.

Considerando el C_q cutoff < 33 calculado en los ensayos de LOD, se determinó un 85.71% de especificidad respecto a los ocho organismos evaluados en ambas concentraciones, incluyendo a los aislamientos distintos de Foc R1 y Foc R2, obtenidos de zonas productoras de plátano en México. En su validación de origen, se evaluaron 136 aislamientos de hongos, incluyendo los 23 VCG's de Foc que constituyen las variantes de raza 1, raza 2 y raza 4 subtropical, de ellos se obtuvo un 93% de especificidad (Aguayo *et al.*, 2017); esta técnica no alcanza el 100 % de especificidad debido a que los autores mencionan que también amplifica para el VCG 0121. De los resultados reportados y obtenidos se concluye que la técnica es específica en detectar y diferenciar a Foc R4T de otros organismos asociados a la matriz. Sin embargo, debido a la evidencia de falsos positivos se sugiere que muestra detectada como positiva por qPCR sea corroborada con otra técnica molecular.

Para repetibilidad, debido a que el análisis es cuantitativo se utilizó el coeficiente de variación como medida de precisión. En relación a los controles positivos la concentración de [25 ng] tuvo un CV = 4.44 %, para [0.05 ng] un CV = 2.43 % y para [0.005 ng] un CV = 3.22 %, mientras que, Aguayo *et al.*, (2017) reportan un CV máximo de 0.93 %, en ambos casos, se concluye que los datos fueron homogéneos, ya que no exceden el 35 % máximo permitido (U.S. FDA, 2020) indicando una alta repetibilidad de los ensayos. Los valores predictivos tanto positivos como negativos fueron mayores a 90 %, por lo tanto, una detección positiva de Foc R4T es robusta para confirmar su presencia, el ensayo detecta correctamente al 93% de las muestras evaluadas. Del mismo modo, un resultado negativo es preciso en determinar que una planta sospechosa no está infectada con Foc TR4, ya que el ensayo identifica correctamente al 97 % de las muestras que no tienen Foc TR4.

Respecto a reproducibilidad, en relación a los controles positivos la concentración de [25 ng] tuvo un CV = 6.49 %, para [0.05 ng] un CV = 1.57 % y para [0.005 ng] un CV = 1.99 %, mientras que, Aguayo et al., (2017) reportan un CV

máximo de 1.71 %, en ambos casos, se concluye que los datos fueron homogéneos, ya que no exceden el 35 % máximo permitido (U.S. FDA, 2020) indicando una alta reproducibilidad de los ensayos. El ANOVA mostró diferencias significativas ($p = 0.00009$), no hubo una tendencia clara sobre que variable influyó más en incidir sobre la magnitud de los valores de Cq. La tasa de falsos positivos y falsos negativos no excedió el 5%, por lo que está dentro del valor permitido (NATA, 2013).

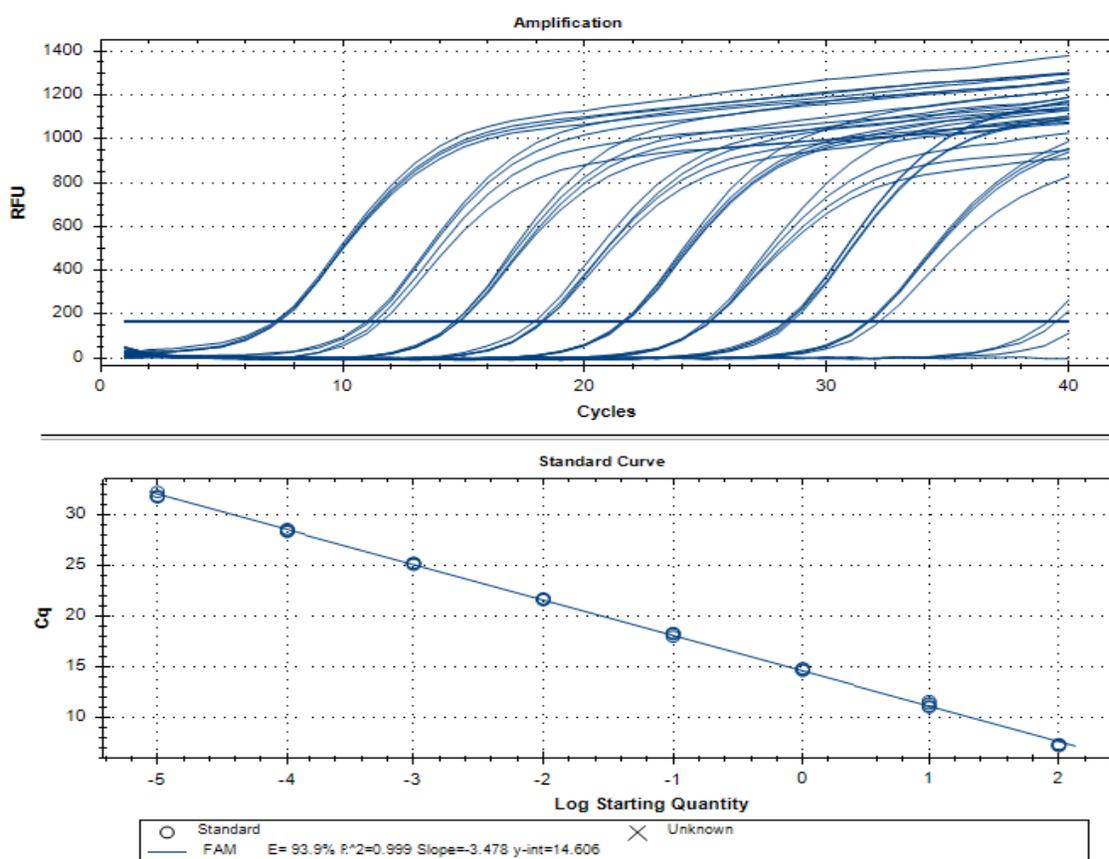


Figura 1. Ensayo de límite de detección (LOD) en diluciones seriadas con factor de dilución en base 10, para el técnico 2 con control clonado + matriz de fondo H2O.

CONCLUSIONES

La detección de Foc R4T involucra tener herramientas de diagnóstico exactas y precisas, para ello, se validó internamente los iniciadores y sonda de qPCR diseñados por Aguayo *et al.*, 2017, se demostró que la técnica es apta para detectar a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raza 4 tropical a partir del hospedante plátano. Los resultados

de los parámetros evaluados: límite de detección, sensibilidad, repetibilidad y reproducibilidad cumplen satisfactoriamente. El parámetro especificidad no fue 100 % satisfactorio para identificar a Foc R4T, por lo tanto, un dictamen positivo únicamente por esta técnica no será válido, y deberá corroborarse el resultado por otras herramientas moleculares o secuenciación.

REFERENCIAS

1. Aguayo J, Mostert D, Fourrier JC, Cerf WI, Hostachy B, Viljoen A, Ioos R. 2017. Development of a hydrolysis probe-based real-time assay for the detection of tropical strains of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4. PLoS ONE 12: e0171767.
2. Cenis LJ. 1992. Rapid extraction of fungal DNA for PCR amplification. Nucleic Acids Research 20: 2380.
3. Dita RMA, Barquero M, Heck D, Mizubuti ESG, Staver CP. 2018. Fusarium Wilt of Banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. Frontiers in Plant Science 9:1468.
4. Doyle JJ, Doyle LJ. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochemical Bulletin 19: 11-15.
5. Edel V, Steinberg C, Avelange I, Laguerre G, Alabouvette C. 1995. Comparison of three molecular methods for the characterization of *Fusarium oxysporum* strains. Phytopathology 85: 579-585.
6. García BFA, van der Veen AJT, Nakasato TG, Meijer HJG, Arango IRE, Kema GHJ. 2019. An improved phenotyping protocol for Panama disease in banana. Frontiers in Plant Science 10:1006.
7. Mostert D, Molina AB, Daniells J, Fourie G, Hermanto C, Chao CP, Fabregar E, Sinohin GV, Masdek N, Thangavelu R, Li C, Yi G, Mostert L, Viljoen A. 2017. The distribution and host range of the banana Fusarium wilt fungus, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, in Asia. PLoS ONE 12: e0181630
8. NATA, (2013). Guidelines for the validation and verification of quantitative and qualitative test methods. Technical Note 17. National Association of Testing Authorities 32p.
9. O'Donnell K, Kistler C, Cigelnik E, Ploetz CR. 1998. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 95: 2044-2049.
10. United State Food and Drug Administration FDA. (2020). Guidelines for the validation of analytical methods for nucleic acid aequence-based analysis of food, feed, cosmetics and veterinary products. FDA. 1st Edition.

A droplet digital PCR assay for the detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4

Andrea Lovera, Edwin Rodríguez, Jaime Simbaqueba[†], Diana Burbano-David, Sandra L. Carmona, Luisa F. Izquierdo-García, Juan C. Gómez-Correa, Rommel I. Leon-Pacheco, Madeleyne Parra-Fuentes, Gustavo Rodríguez, Mónica Betancourt, Paola Zuluaga, Mauricio Soto-Suárez*

*Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia. C.I Tibaitatá and C.I Caribia. Colombia; [†]Nourish Ingredients, Canberra ACT 2911, Australia.

*Autor de

Correspondencia:

Mauricio Soto-Suárez
msoto@agrosavia.co

Contribución:

Científica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Lovera A, Rodríguez E, Simbaqueba J, Burbano-David D, Carmona SL, Izquierdo-García LF, Gómez-Correa JC, Leon-Pacheco RI, Parra-Fuentes M, Rodríguez G, Betancourt M, Zuluaga P y Soto-Suárez M. 2024. A droplet digital PCR assay for the detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 40
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2440>

ABSTRACT

Fusarium wilt of banana, caused by the pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (*Foc* TR4) is a threat for food security as it affects global banana industry. The development of early detection strategies of *Foc* TR4, from asymptomatic tissues with low inoculum concentration and environmental samples is an indispensable prerequisite to restrict the pathogen spread and minimize the environmental impact by eradicating an area with accurate data of the pathogen's presence. In this study, three different PCR technologies (conventional PCR, qPCR and ddPCR) were evaluated for *Foc* TR4 detection in complex environmental samples. We report the development of a sensitive and specific ddPCR primer/probe set and protocols that can be used as a tool for *Foc* TR4 detection from plant tissue without prior DNA extraction, symptomatic and asymptomatic plant tissue, drainage waters, footbaths and soil samples.

Palabras clave: *Fusarium* wilt; banana; drainage waters, footbaths, droplet digital PCR, phytosanity.

RESUMEN

La marchitez por *Fusarium* del plátano, causada por el patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (*Foc* TR4) es una amenaza para la seguridad alimentaria, ya que afecta la industria bananera mundial. El desarrollo de estrategias de detección temprana de *Foc* TR4, a partir de tejidos asintomáticos con baja concentración de inóculo y muestras ambientales, es un prerequisite indispensable para restringir la diseminación del patógeno y minimizar el impacto ambiental erradicando un área con datos precisos de la presencia del patógeno. En este estudio, se evaluaron tres tecnologías de PCR diferentes (PCR convencional, qPCR y ddPCR) para la detección de *Foc* TR4 en muestras ambientales complejas. Informamos del desarrollo de un conjunto de cebadores/sondas y protocolos ddPCR sensibles y específicos que pueden utilizarse como herramienta para la detección de *Foc* TR4 a partir de tejido vegetal sin extracción previa de ADN, tejido vegetal sintomático y asintomático, aguas de drenaje, lavapiés y muestras de suelo.

Keywords: marchitez por *Fusarium*; plátano; agua de drenaje, lavapiés, PCR digital de gotas, Fitosanidad.



INTRODUCTION

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (*Foc* TR4) is the causal agent of banana Fusarium wilt. Once the pathogen is established in a plantation there are different factors that contribute to make difficult to control the disease, among them the ability of the fungus to grow saprophytically in plant debris, the production of chlamydospores, which allow the fungus to remain dormant in the soil for up to 30 years, the late appearance of symptoms in affected plants delaying a timely diagnosis, the high adaptability of the pathogen to diverse soil conditions and the polycyclic nature of the disease (Ploetz et al., 2015). Therefore, the development of early detection strategies of *Foc* TR4, from asymptomatic tissues with low inoculum concentration and environmental samples is an indispensable prerequisite to restrict the pathogen spread.

Due to third generation PCR technologies such as droplet digital PCR (ddPCR), it is now possible to detect and quantify target DNA directly from environmental samples such as soil, water and plant tissue, without prior isolation of the pathogen and at very low concentrations (Giber et al. 2021). The ddPCR or third-generation PCR has some advantages over qPCR, among them that no standard curve is required for quantification, resilience to PCR inhibitory substances that can be found in environmental samples, and higher sensitivity and accuracy in the quantification of target DNA (Falzone et al., 2020).

The objectives of this study were (i) to develop a *Foc* TR4 specific ddPCR assay, (ii) to use this ddPCR assay for sensitive and accurate quantification of *Foc* TR4 in complex and environmental samples, such as asymptomatic plants, soil and water. The feasibility of the ddPCR assay was verified by testing different types of samples i) DNA of purified *Foc* TR4 isolates, ii) DNA of infected plant tissue, iii) macerated plant tissue without DNA isolation, iv) DNA of artificially infested soil samples and v) DNA from drainage waters and footbaths collected from *Foc* TR4 affected fields. A comparison among PCR, qPCR and ddPCR technologies was also performed. This document represents a summary of a previously published work.

MATERIALS AND METHODS

Plant inoculation

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* TR4 was provided by the Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Two-months old *in-vitro* propagated banana plants from

commercial cultivars Valery and Williams were transplanted into pots containing 2000 g of soil. After 13 weeks, plants were drench inoculated with 100 mL of inoculum at three different concentrations of *Foc* TR4: 1×10^3 , 1×10^5 and 1×10^6 conidia/mL. Inoculations were performed under greenhouse conditions.

DNA extraction of fungal isolates and plant material

For fungal DNA extraction, each isolate was grown in PDB for seven days under constant agitation at 30° C. Then, the mycelium was harvested, lyophilized for 48 hours at 0,3 mbar and -50 °C, and then grinded in liquid nitrogen. DNA was extracted from 100 mg of the mycelia from each isolate using the cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) protocol (Griffith & Shaw, 1998).

For symptomatic and asymptomatic plant tissue sampling, banana fields affected with *Foc* TR4 were visited. A total of 19 symptomatic plants from 12 outbreaks in three TR4-affected fields were collected. Samples of rhizomes from Cavendish banana cultivars with external Fusarium wilt symptoms were collected. Additionally, 111 samples of asymptomatic plants located until eight meters away from 12 different symptomatic plants were collected. Finally, DNA was extracted from 300 mg of grinded tissue as reported by Daire and colleagues (Daire et al., 1997).

For plants artificially inoculated with *Foc* TR4, samples of rhizomes from Valery and Williams cultivars were collected at 70 days post-inoculation (dpi), when symptoms in rhizomes were detected for plants inoculated with 1×10^6 conidia/mL, and total genomic DNA was extracted as mentioned above.

Pathogen detection using PCR, qPCR and ddPCR

For pathogen detection, primer set RT_13.16_F2.5 and RT_13.16_R2.5 previously reported as specific to *Foc* TR4 was used (Matthews et al., 2020). Additionally, a FAM/BHQ-1 nova labeled probe on this *Foc* TR4-specific region for ddPCR purposes was designed using RealTimeDesign™ (<https://www.biosearchtech.com/>). The primers/probe used in this study were named ddPCR_13.16_F2.5, ddPCR_13.16_R2.5 and Probe_ddPCR_13.16.

RESULTS AND DISCUSSION

A previous study has assessed the detection and quantification of *Foc* TR4 by qPCR using the PCR_13_16 marker in infected banana plants and artificially

inoculated water and soil samples (Matthews et al., 2020). Therefore, we focused our efforts on the development of a ddPCR methodology based on the same target DNA, to detect and quantify *Foc* TR4 in artificially inoculated samples, asymptomatic plant tissues, drainage waters, footbaths and soils artificially inoculated. First, we confirmed that the primer set ddPCR_13_16 is specific for *Foc* TR4 isolates. Then, we compared the LOD among PCR, qPCR and ddPCR on DNA from *Foc* TR4 isolates, and demonstrated that ddPCR offers a significant advantage, presenting a LOD with one order of magnitude lower than qPCR and PCR (Figure 1. Additionally, ddPCR was the only method capable of detecting *Foc* TR4 from macerated banana plants without a previous DNA isolation step. This result could be important, as DNA extractions are time-consuming activities to implement early pathogen detection methods based on molecular biology. Thus, the ddPCR assay developed in this study could speed up the *Foc* TR4 identification where required.

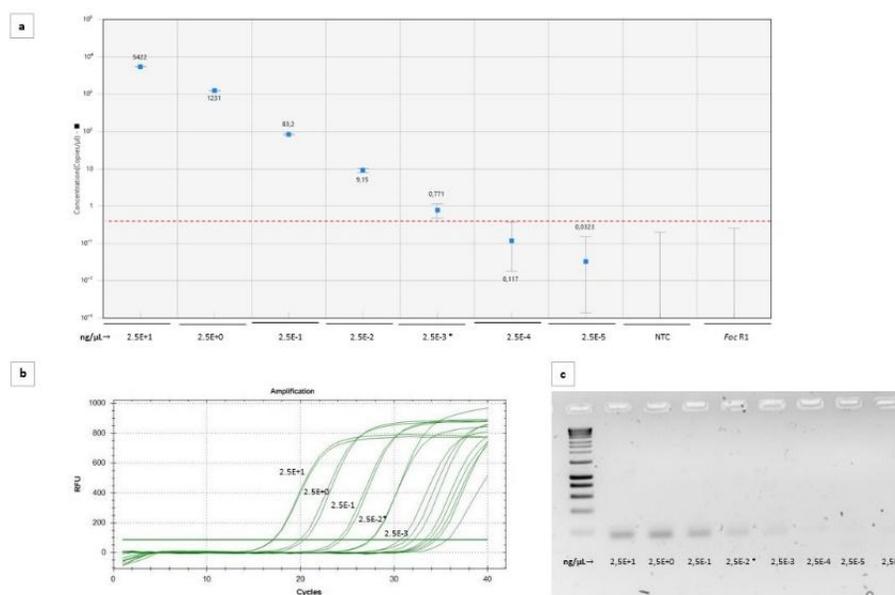


Figure 1. Comparison of level of detection (LOD) among ddPCR, qPCR and conventional PCR.

After the analysis of serial dilutions of *Foc* TR4 genomic DNA with the three technologies, ddPCR presented the lowest LOD ($2,5 \times 10^{-3}$ ng/μL) [a], followed by qPCR [b] and conventional PCR with a LOD value of $2,5 \times 10^{-2}$ ng/μL [c].

Biosecurity measures, early detection and eradication of outbreaks are the main ways to prevent the spread of *Foc* TR4. To strengthen the containment and field monitoring activities against *Foc* TR4, reliable and sensitive tools are required for early detection of *Foc* TR4 from asymptomatic plants and environmental samples. Target

DNA could be highly diluted in complex samples (i.e. asymptomatic plant samples), requiring the use of higher amounts of plant matrix DNA per PCR reaction mix. Therefore, ddPCR offers the possibility to increase the matrix DNA quantity to up to 1 µg per reaction mixture while maintaining high resistance to PCR inhibitors (Gibert et al., 2021). In this study, up to 150 ng of plant matrix DNA per PCR mixture were required for an accurate detection of *Foc* TR4 by ddPCR in asymptomatic plants artificially inoculated with 1×10^5 conidia/mL of the pathogen, but not at lower concentrations (1×10^3 conidia/mL). This result suggests that ddPCR cannot detect *Foc* TR4 in very low-level infected samples or that this low inoculum concentration was not sufficient for *Foc* TR4 to develop disease symptoms. Recent studies reported that the minimum threshold of inoculum concentration in soil required to infect plants is about 1×10^3 spores per gram of dry soil (Wen et al. 2020). Importantly, *Foc* TR4 was detected in asymptomatic plants collected from disease-affected fields (Figure 2). As shown in other pathosystems (Pucci et al., 2022), ddPCR could be applied to the detection of *Foc* TR4 in contaminated plants with low concentration of target DNA, such as asymptomatic nursery plants or asymptomatic plants in the field.

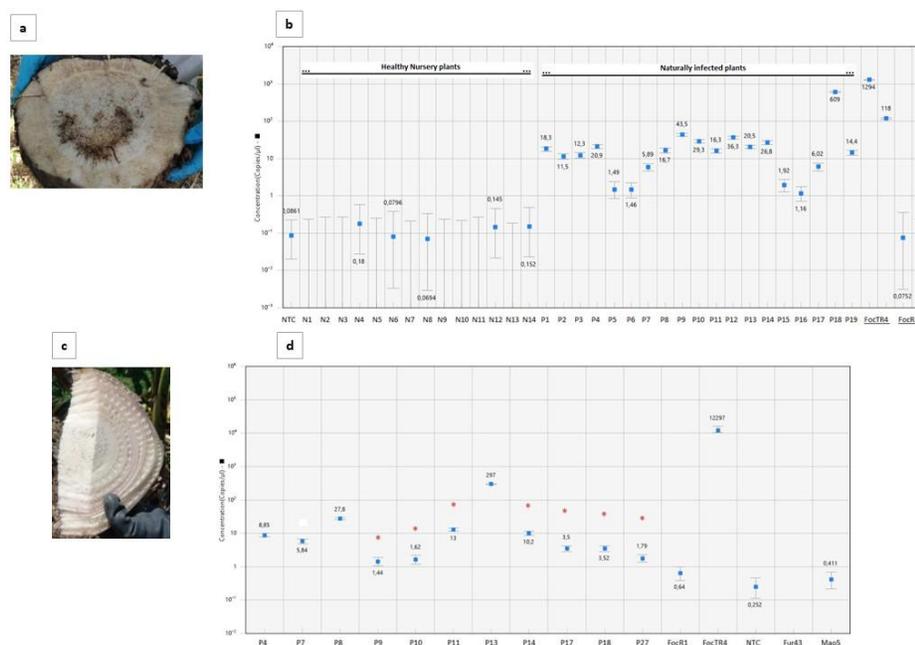


Figure 2. Detection of *Foc* TR4 in naturally infected plants. [a] Rhizome from symptomatic plant. [b] ddPCR from Nursery plants (N) and symptomatic naturally infected plants (P). [c] Rhizome from asymptomatic plant. [d] ddPCR from asymptomatic plants (red asterisks).

The high abundance of PCR inhibitors in environmental samples and low inoculum levels are one of the main causes of the lack of PCR-based approaches for *Foc* TR4 detection and quantification in environmental samples, such as drainage waters and soil (Matthews et al., 2020). The present ddPCR assay can quantify the number of copies of a target DNA fragment of *Foc* TR4 from drainage water samples, as low as 10^5 conidia/mL for artificially infested water samples. Additionally, we determined that DNA should be extracted as quickly as possible after collection of water samples, given that there is a substantial DNA degradation during the incubation period. For artificially inoculated soil samples, ddPCR detected *Foc* TR4 at a concentration as low as 10^3 conidia/mL per gram of soil. In contrast, soil samples should be incubated for pathogen multiplication before qPCR or ddPCR analysis.

Altogether, the results presented here demonstrate that the ddPCR can be used as a tool for detection of *Foc* TR4 directly from macerated plant tissue without prior DNA extraction. We also demonstrated that ddPCR can detect *Foc* TR4 from asymptomatic plants collected in TR4-affected fields. Additionally, artificial inoculation assays with *Foc* TR4 on drainage waters and soil samples allowed us to establish a minimal threshold for detection of *Foc* TR4 being 1×10^5 and 1×10^3 conidia/mL, respectively.

CONCLUSIONES

The objective of this study was to evaluate ddPCR as a new tool to detect and quantify *Foc* TR4 in complex and environmental samples for uses in research and diagnostic services. Our work demonstrates the potential of ddPCR technology to detect and quantify *Foc* TR4 from environmental and recalcitrant samples, and from samples with low target DNA concentration. To the extent of our knowledge, the current study represents the first report of *Foc* TR4 detection using ddPCR technology, and the application of ddPCR for detection of *Foc* TR4 from symptomatic and asymptomatic banana plants.

REFERENCIAS

1. Daire, X., Clair, D., Reinert, W., & Boudon-Padieu, E. 1997. Detection and differentiation of grapevine yellows phytoplasmas belonging to the elm yellows group and to the stolbur subgroup by PCR amplification of non-ribosomal DNA. *European Journal of Plant Pathology* 03(6), 507–514.

2. Falzone, L., Musso, N., Gattuso, G., Bongiorno, D., Palermo, C. I., Scalia, G., Libra, M., & Stefani, S. 2020. Sensitivity assessment of droplet digital PCR for SARS-CoV-2 detection. *International Journal of Molecular Medicine* 46(3), 957–964.
3. Gibert S., Edel-Hermann V., Moussa Mcolo R., Gautheron E., Michel J., Bernaud E., Gautheron N., Sol J., Capelle G., Galland R., Bardon-Debats A., Lambert C., S. C. 2021. Risk assessment of *Aphanomyces euteiches* root rot disease: quantification of low inoculum densities in field soils using droplet digital PCR. *European Journal of Plant Pathology* 161(3), 503–528.
4. Griffith, G. W., & Shaw, D. S. 1998. Polymorphisms in *Phytophthora infestans*: Four mitochondrial haplotypes are detected after PCR amplification of DNA from pure cultures or from host lesions. *Applied and Environmental Microbiology* 64(10), 4007–4014.
5. Lovera, A., Rodríguez, E., Simbaqueba, J., Burbano - David, D., Carmona, S. L., Izquierdo - García, L. F., ... & Soto - Suárez, M. 2023. Development and application of a droplet digital PCR assay for the detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4 from different biological samples. *Plant Pathology* 2023;00:1–13.
6. Matthews, M. C., Mostert, D., Ndayihanzamaso, P., Rose, L. J., & Viljoen, A. (2020). Quantitative detection of economically important *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense strains in Africa in plants, soil and water. *PloS One* 15(7), e0236110.
7. Ploetz, R., Freeman, S., Konkol, J., Al-Abed, A., Naser, Z., Shalan, K., Barakat, R., & Israeli, Y. (2015). Tropical race 4 of Panama disease in the Middle East. *Phytoparasitica* 43(3), 283–293.
8. Pucci, N., Scala, V., Tatulli, G., L'Aurora, A., Lucchesi, S., Salustri, M., & Loreti, S. (2022). Intra-Laboratory Evaluation of DNA Extraction Methods and Assessment of a Droplet Digital PCR for the Detection of *Xanthomonas citri* pv. *citri* on Different Citrus Species. *International Journal of Molecular Sciences* 23(9), 4975.
9. Wen, R., Lee, J., Chu, M., Tonu, N., Dumonceaux, T., Gossen, B. D., Yu, F., & Peng, G. (2020). Quantification of *Plasmodiophora brassicae* resting spores in soils using droplet digital PCR (ddPCR). *Plant Disease* 104(4), 1188–1194.

Vigilancia dinámica de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza 4 tropical en México

Guillermo Santiago-Martínez¹; Daniela Alejandra Bocanegra-Flores¹; José Guadalupe Florencio-Anastasio^{1*}; María Margarita Oliva-Hurtado¹; Gabriel Peralta-Valverde¹; Sandra Berenice Rositas-Tristán¹; Oscar Sánchez-Martínez¹

¹Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, Dirección General de Sanidad Vegetal, Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, Carretera Federal México-Pachuca km 37.5, 55740 Tecámac, Estado de México, México.

*Autor de

Correspondencia:

José Guadalupe Florencio-Anastasio
jose.florencio.i@senasica.gob.mx

Contribución:
Científica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Santiago-Martínez G,
Bocanegra-Flores DA,
Florencio-Anastasio JG,
Oliva-Hurtado MM,
Peralta-Valverde G,
Rositas-Tristán SB y
Sánchez-Martínez O. 2024.
Vigilancia dinámica de
Fusarium oxysporum f. sp.
cupense raza 4 tropical en
México.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):
41
<https://doi.org/10.62498/AR-TC.2441>

RESUMEN

La Marchitez de las musáceas por *Fusarium*, es una plaga ausente en México; por lo que, el SENASICA realiza acciones de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria para su detección oportuna en 16 entidades federativas. Con la finalidad de optimizar la vigilancia con un enfoque dinámico y flexible en tiempo y espacio, se desarrolló el modelo dinámico para delimitar áreas con condiciones potenciales para la expresión de síntomas de la plaga, con base en variables climáticas y edáficas favorables se determinaron índices potenciales. El Modelo desarrollado permite priorizar, de manera mensual, cinco niveles de condiciones favorables para el desarrollo de la plaga, tanto a escala nacional como a predios de cultivo.

Palabras clave: Modelo dinámico, Marchitez por *Fusarium*, condiciones óptimas, Fitosanidad.

ABSTRACT

Fusarium wilt of musaceae is a pest absent in Mexico; Therefore, SENASICA carries out Phytosanitary Epidemiological Surveillance actions for its timely detection in 16 states. In order to optimize surveillance with a dynamic and flexible approach in time and space, the dynamic model was developed to delimit areas with potential conditions for the expression of pest symptoms, based on favorable climatic and edaphic variables, potential indices were determined. The developed Model allows prioritizing, on a monthly basis, five levels of favorable conditions for the development of the pest, both on a national scale and on farms.

Keywords: Dynamic model, *Fusarium* wilt, optimal conditions, phytosanitary.



INTRODUCCIÓN

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Foc R4T) es el agente causal de la Marchitez de las musáceas por *Fusarium*, se reportó por primera vez en Taiwán en 1989. A la fecha, esta plaga se ha detectado en 24 países de Asia, Oceanía, África, Europa y América (Florencio-Anastasio, 2023; IPPC, 2023; Mmadi et al., 2023). La importancia de esta plaga, reside en que no existen cultivares de plátano con resistencia aceptable agronómicamente, ni productos químicos efectivos para su control. Por otra parte, la condición fitosanitaria de Foc R4T en México es ausente y es de importancia cuarentenaria (Florencio-Anastasio, 2022). Debido a que la movilización de material vegetal propagativo (hijuelos y cormos infectados) es la principal vía de dispersión de la plaga (Dita et al., 2013), se considera que el riesgo de introducción de Foc R4T a México es medio (Florencio-Anastasio, 2022). El estudio de Análisis de Riesgo de Plagas, dentro de la probabilidad de entrada de una plaga, contempla la adaptabilidad al medio ambiente, tales como: factores climáticos y edáficos. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar el modelo dinámico de Foc R4T, para determinar las áreas con condiciones favorables potenciales para el desarrollo y expresión de síntomas de la plaga Foc R4T en México y optimizar la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria de la plaga en una lógica dinámica y flexible en espacio y tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de trabajo. Se utilizó una cuadrícula de 1 km² en formato “shape file” desarrollada por el Programa Nacional de Moscas de la Fruta del Senasica; la cual, asigna una clave única a cada cuadrante y tiene una cobertura nacional. Mediante del software ArcGIS Advance Pro® se determinó el centroide de cada uno de los cuadrantes con el objetivo de que el cuadrante este ubicado en un solo municipio. Como resultado se obtuvieron un total de 2,026,580 cuadrantes de 1 km² que abarcan toda la República Mexicana.

Perspectiva climática mensual. Las variables climáticas utilizadas son: pronóstico mensual de Humedad Relativa (HR), el cual se obtiene del modelo Climate Forecast System versión 2 (CFSv2) [Saha et. al., 2014] en formato binario grib2. Estos archivos se procesaron a través de sistemas operativos Linux (Ubuntu 20.04) con la librería wgrib2 que es un paquete de software libre desarrollado por el Climate Prediction Center. Este archivo binario para ser visualizado en el software GrADS (Sistema de Análisis y Visualización de Cuadrículas por sus siglas en inglés) requiere de un archivo

de control; el cual, se genera partir de una rutina programada en lenguaje de programación PERL. Una vez generado el archivo ctl se despliega con GrADS y delimita la malla mundial al dominio de México para que sea más sencilla su manipulación y se exporta la malla con el dominio de México al formato geotiff para su manejo en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

La perspectiva climática mensual de precipitación pluvial (pp), temperatura máxima (tmáx), temperatura mínima (tmín) se obtiene desde el portal del Servicio Meteorológico Nacional de la Comisión Nacional del Agua en la sección de Climatología Pronóstico Estacional (SMN-CONAGUA, 2023).

Extracción de datos. Para las 4 variables climáticas se realizó una re-interpolación y extrapolación espacial mediante splines multi-level betha, método de interpolación disponible en la librería Multilevel B-Spline de R-project. Debido a que la malla de HR es de pixeles de $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, se reinterpola para generar una malla de mejor resolución espacial y representativa. Debido a que las mallas (geotiff) de perspectivas climáticas del SMN de precipitación y temperaturas no cubren por completo la malla de vigilancia, se extrapoló espacialmente para ajustar el tamaño a 1 km^2 , con lo que se previene que algún cuadrante quede sin información. Una vez que se obtiene la información de pronóstico y perspectivas climáticas mensuales en formato geotiff, los datos se extraen por cuadrante, a través del software ArcGIS Advance Pro (Senasica, 2017) con la herramienta Extract Multi Values to Points del paquete Spatial Analyst, para generar una base de datos que puede exportarse a Microsoft Excel®.

Condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de Foc R4T.

No existe información disponible en la literatura sobre las condiciones ambientales óptimas en campo para el proceso de patogénesis del hongo Foc R4T. No obstante, se reporta que la Humedad Relativa (HR) óptima es $> 70\%$ (Kema, 2022, com. pers.). Mientras que la Temperatura óptima (Tóptima) en campo $> 25^\circ\text{C}$ (Kema, 2022, com. pers.); lo cual, está correlacionado con las temperaturas presentes en Australia, donde se ha detectado Foc R4T. Por lo tanto, se determinó como Tóptima de 25 a 34°C y Tmín de 10°C ; así como 500 mm de precipitación mensual óptimo y 100 mm de precipitación mínima mensual para el desarrollo de Foc R4T, considerando que el cultivo de plátano requiere de 2000 a 3000 mm anuales (Pronatura, 2016).

Determinación de las escalas. Se estimó el efecto de cada una de las variables considerando los umbrales mínimos y máximos para el desarrollo de la plaga; es decir,

se asignó un valor de 100%, cuando la variable es igual al punto óptimo de desarrollo, y dicho valor disminuye de manera lineal hasta 0%, conforme se acerca al umbral mínimo y máximo; también se asigna un valor del 0% en aquellos cuadrantes cuya temperatura y precipitación es menor de 10°C o 100 mm, respectivamente.

Determinación de los índices parciales y general. Se estimaron los índices parciales (tmín, tmáx, HR y PP) de cada uno de los 2,026,580 cuadrantes de 1 km² que cubren todo el territorio nacional en base a las escalas determinadas previamente. Posteriormente, Se obtuvo el índice general promediando los índices parciales de cada uno de los cuadrantes.

Determinación de las condiciones potenciales para la expresión de síntomas. Los valores del índice general se agruparon en cinco niveles, en los que los rangos se definieron en relación a rangos de probabilidad. El Nivel 1, tiene una probabilidad menor del 60 %, mientras que los niveles 2, 3 y 4, tienen una probabilidad del 60 al 70 %, del 70 al 85 % y del 85 al 95 %, respectivamente; y para el Nivel 5, la probabilidad es mayor al 95 %. El modelo estadístico que se utilizó para realizar el Análisis de variación (ANOVA), es el siguiente: $y = a + b + a*b + e$, donde y: variación total de las condiciones potenciales, a: variación de las condiciones potenciales a nivel municipal, b: variación de los niveles de condiciones potenciales, a*b: interacción, y e: error experimental. Se determinó que existen diferencias altamente significativas entre niveles ($P < 0.0001$), y mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), se confirmó que la jerarquía de los niveles es estadísticamente correcta. Una vez asignado a cada cuadrante el valor del nivel que le corresponde (Niveles 0, 1, 2, 3, 4, 5), éstos pueden analizarse de manera nacional, regional, municipal o por cuenca hidrológica; cabe destacar que, en ningún caso, se pierde la precisión ni la confianza estadísticas.

Integración de las variables fijas. Una vez delimitados los cinco niveles de condiciones potenciales, con base en las variables climáticas, se integraron las capas geoespaciales de suelos arcillosos y áreas inundables como condiciones favorables para el desarrollo de Foc R4T.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el mes de septiembre de 2022, las áreas con niveles de condiciones favorables: alto, medio y medio-bajo para la expresión de síntomas de la Marchitez por *Fusarium* (Figura 1), determinadas mediante el modelo dinámico, coinciden con las principales áreas de producción de plátano en México, incluyendo áreas potenciales

en Tamaulipas, Nuevo León y Sinaloa, en donde no existe este cultivo establecido (SIAP, 2015); además, en el presente estudio determinaron algunas áreas en Baja California Sur, Sonora y Chihuahua con condiciones favorables para el desarrollo de la plaga.

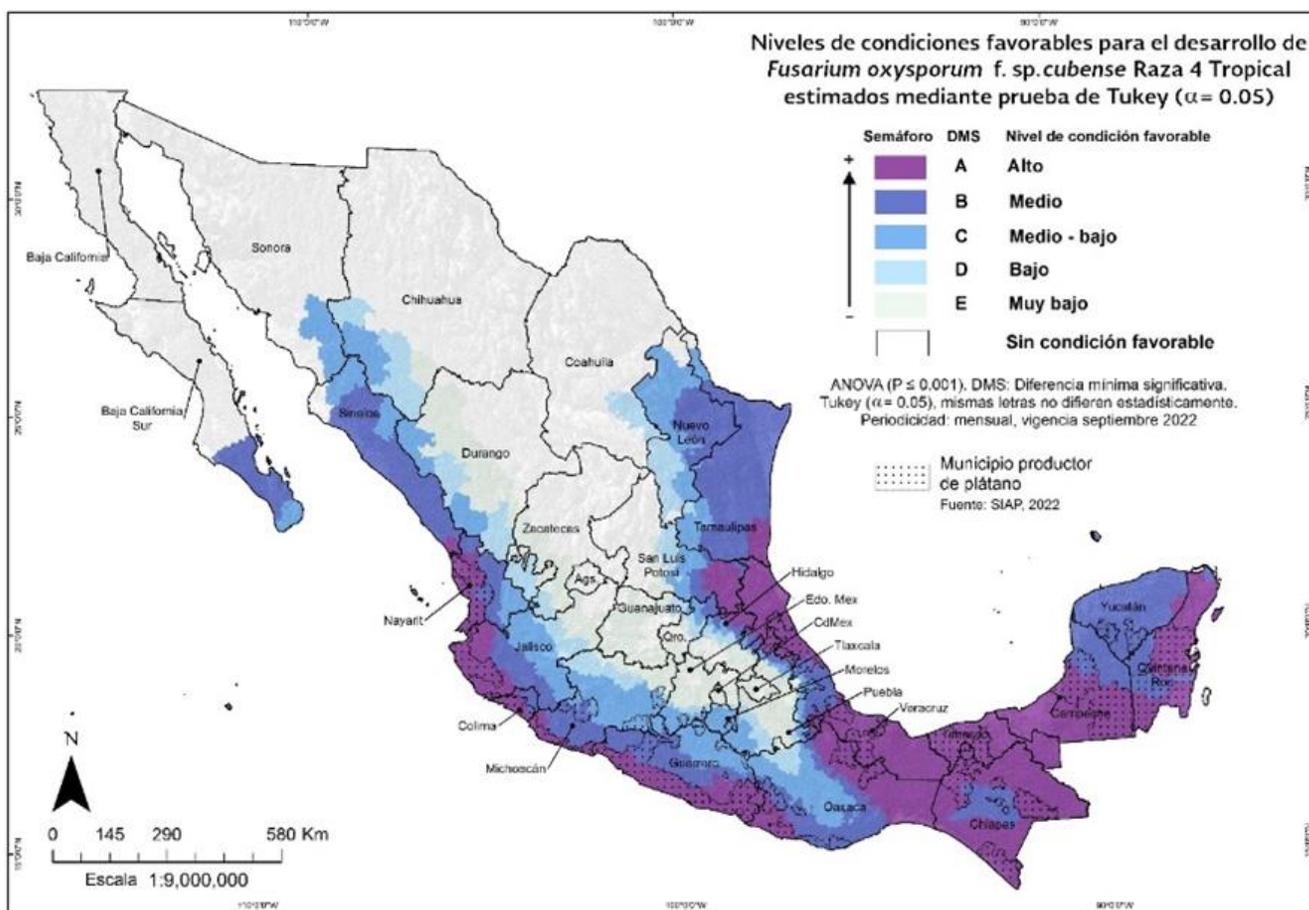


Figura 1. Estimación de condiciones favorables potenciales para la expresión de síntomas de Foc R4T en México para el mes de septiembre de 2023, por medio del modelo dinámico.

Las áreas con condiciones favorables potenciales para la expresión de síntomas de la plaga fueron diferentes para cada mes de año y están correlacionadas con las condiciones ambientales y edáficas (Figura 2).

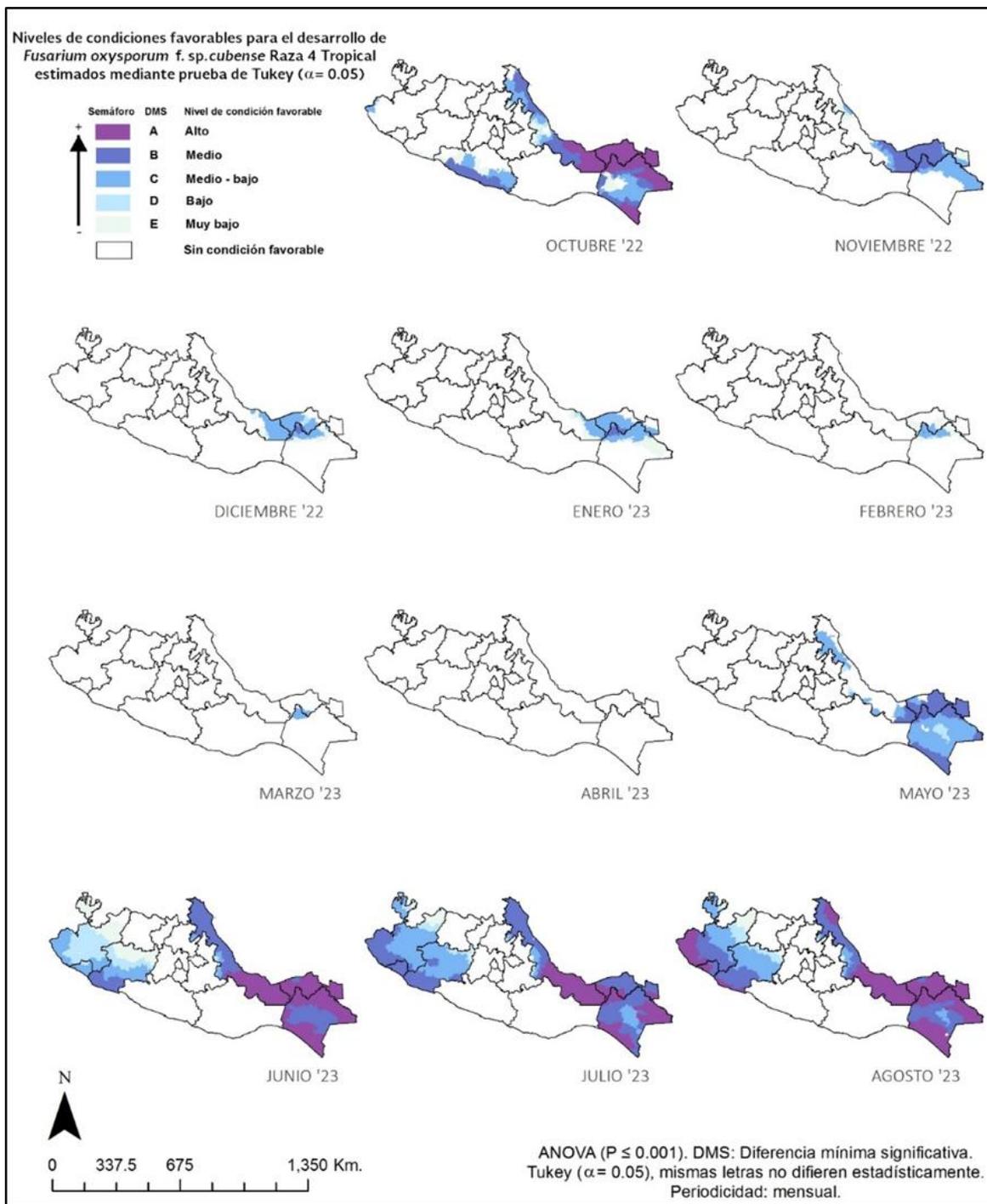


Figura 2. Estimación de condiciones favorables potenciales para la expresión de síntomas de Foc R4T en los estados de Tabasco, Chiapas, Veracruz, Michoacán, Jalisco y Colima en México; durante el periodo de octubre 2022 a agosto 2023, por medio del modelo dinámico.

El modelo dinámico desarrollado para Foc R4T permite priorizar cinco niveles con condiciones favorables para el desarrollo de la plaga (Alto, Medio, Medio-bajo, Bajo y Muy Bajo) a diferentes escalas: nacional, estatal, municipal, ejidal y a nivel de predios o parcelas, con lo cual se busca optimizar, priorizar y dirigir las actividades de muestreo que implementa el Senasica a través de los Organismo Auxiliares de Sanidad Vegetal para la detección oportuna de la Marchitez por *Fusarium*, bajo una lógica dinámica y flexible en espacio y tiempo, tanto en áreas de producción como en áreas silvestres, urbanas, traspatios, etc., en donde se encuentren plantas aisladas de plátano.

CONCLUSIONES

El modelo dinámico desarrollado para *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical permite priorizar cinco niveles con condiciones favorables para el desarrollo de la plaga a diferentes escalas, nacional, estatal, municipal, ejidal y a nivel de parcelas.

La determinación de áreas con condiciones favorables para la expresión de síntomas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical, permite optimizar, priorizar y redirigir las actividades de muestreo para la detección oportuna de la marchitez por *Fusarium*, bajo una lógica dinámica y flexible en espacio y tiempo.

REFERENCIAS

1. Dita RMA, Echegoyén RPE y Pérez VLF. 2013. Plan de contingencia ante un brote de la Raza 4 Tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en un país de la región del OIRSA. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). San Salvador, El Salvador. 155p.
2. Florencio-Anastasio JG. 2022. Estrategias de manejo integrado de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza “1 o 2”, en México. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. México. 170 p.
3. Florencio-Anastasio JG, Alarcón A, García-Ávila CJ, Ferrera-Cerrato R, Quezada-Salinas A, Almaraz-Suárez JJ, Espinoza-Mendoza M, Bocanegra-Flores DA and Hernández-Ramos L. 2023. *In vitro* inhibition of bacteria against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 2. Mexican Journal of Phytopathology 41(1): 126-142.
4. Finley A, Banerjee S, Hjelle Ø, and Bivand R. 2022. Multilevel B-Spline Approximation. Package ‘MBA’. 7 p.
5. IPPC. 2023. Phytosanitary Emergency for presence of Foc R4T. International Plant Protection Convention (IPPC). <https://www.ippc.int/es/countries/venezuela-bolivarian-republic-of/pestreports/2023/01/phytosanitary-emergency-for-presence-of-foc-r4t/>. Consulta 15 de noviembre de 2023.

6. Mmadi M, Azali HA, Mostert D, Robene I, and Viljoen A. 2023. First report of *Fusarium* wilt of Cavendish bananas caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 in the Grande Comoros Island. Plant Disease (on line). <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-07-23-1288-PDN>. Consulta 15 de diciembre de 2023.
7. Pronatura. 2016. Análisis de la producción de plátano, su mercado y las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en Chiapas. 29 p.
8. Saha S, Moorthi S, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Behringer D, Hou Y, Chuang H, Iredell M, Ek M, Meng J, Yang R, Peña-Mendez M, Van Den Dool H, Zhang Q, Wang W, Chen M, and Becker E. 2014. The NCEP Climate Forecast System Version 2. *Journal of Climate* 27(6):2185-2208.
9. SIAP. 2015. Atlas Agroalimentario 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 216 p. Primera edición.
10. SMN-CONAGUA. 2023. Pronóstico climático de precipitación y temperatura. Servicio Meteorológico Nacional de México-Comisión Nacional del Agua. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>. Consulta el 15 de noviembre de 2023

Co-ocurrencia de *Fusarium* raza 4 tropical y pudrición blanda bacteriana en plantaciones de banano orgánico Cavendish en Piura, Perú

Jorge E Vargas^{1*}; Esdwin Nuñez²; Juan C Rojas²; Miguel Dita³

¹Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia; ² Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Piura, Perú.

³Bioversity International, Cali Colombia.

***Autor de Correspondencia:**
Jorge E Vargas
j.e.vargas@cgiar.org

Contribución:
Científica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Vargas JE, Nuñez E, Rojas JC y Dita M. 2024. Co-ocurrencia de *Fusarium* raza 4 tropical y pudrición blanda bacteriana en plantaciones de banano orgánico Cavendish en Piura, Perú. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 42
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2442>

RESUMEN

La detección temprana y erradicación de plantas con síntomas de marchitez por *Fusarium* del banano (MFB) es esencial para su manejo. Sin embargo, síntomas de enfermedades como la pudrición blanda bacteriana (PBB) pueden confundirse con la MFB. En este trabajo se evaluó la incidencia y coocurrencia de la MFB (raza 4 tropical) y PBB en cinco parcelas de banano Cavendish en Piura, Perú. El 67% de las plantas evaluadas mostró síntomas de MFB. El 30% mostro ambas enfermedades. Solamente el 4% presentó síntomas de PBB. La coocurrencia de MFB y PBB sugiere la necesidad de capacitar a técnicos y productores para diferenciar y manejar correctamente estas enfermedades.

Palabras clave: Marchitez por *Fusarium*, enfermedades vasculares del banano, complejos de enfermedades, Fitosanidad.

ABSTRACT

Early detection and eradication of plants exhibiting symptoms of *Fusarium* wilt of banana (FWB) are essential for its management. However, symptoms of diseases like bacterial soft rot (BSR) can be confused with FWB. This study evaluated the incidence and cooccurrence of FWB (tropical race 4) and BSR in five Cavendish banana plots in Piura, Peru. Sixty-seven percent of the evaluated plants showed symptoms of FWB, 30% exhibited both diseases. Only 4% of plants displayed symptoms of BSR. The cooccurrence of FWB and BSR highlights the need to train technicians and producers to differentiate and manage these diseases accurately.

Keywords: *Fusarium* wilt, banana vascular diseases, disease complexes, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

Los plátanos y bananos son clave en la seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe (ALC) (FAO, 2020). La llegada del *Fusarium* raza 4 tropical (Foc R4T) al continente americano, Colombia (García-Bastidas et al., 2019), Perú (Acuña et al., 2022) y Venezuela (Mejías et al., 2023) es una muestra del poder de diseminación de esta enfermedad. La diseminación Foc R4T en la región de Piura, Perú (actualmente más de 360 focos), está causando grandes pérdidas y amenazando el resto de las regiones productoras de banano y plátano del Perú y de ALC, donde estos cultivos son clave para la seguridad alimentaria.

Las altas precipitaciones e inundaciones ocurridas recientes unido a la falta de detección oportuna y manejo adecuado de la enfermedad han intensificado la diseminación del patógeno. A pesar de que la marchitez por *Fusarium* del banano (MFB) ya ocurre en Perú y ALC, muchos productores no están familiarizados con sus síntomas (Dita et al., 2018). De esa forma, la MFB puede llegar a confundirse con otras enfermedades vasculares de las musáceas como el Moko (*Ralstonia solanacearum* raza 2) y la pudrición blanda bacteriana (*Pectobacterium carotovorum* / *Dickeya paradisiaca*). Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la incidencia de la MFB, de la PBB, así como su coocurrencia en parcelas de banano orgánico Cavendish afectadas por Foc R4T en Piura, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en cinco parcelas de banano orgánico Cavendish localizadas en la región de Piura, Perú y afectadas por Foc R4T (Cuadro 1). Se realizaron cinco evaluaciones mensuales de la incidencia de la MFB, PBB y de ambas enfermedades (MFB +PBB). Cada planta fue fotodocumentada y georreferenciada. Se calculó la incidencia en el tiempo, total y acumulada de las plantas afectadas.

Cuadro 1. Ubicación geográfica y superficie de las parcelas evaluadas.

Parcela	Distrito (Sector)	Área (ha)	Coordenadas	
			Latitud	Longitud
1	Marcavelica (Garabato)	2	-5.30820	-94.61797
2	Marcavelica (Garabato)	0.5	-5.30960	-94.61526
3	Marcavelica (La bodega)	0.25	-5.28234	-94.60892
4	Marcavelica (Rio seco)	0.5	-5.31958	-94.59638
5	Marcavelica (La bodega)	1.25	-5.28420	-94.60878

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los síntomas observados en las plantas fueron: MFB (Figura 1A, 1B y 1C), MFB+PBB (Figura 1D y 1E) y PBB (Figura 1F, 1G y 1H).



Figura 1. Síntomas de marchitez por *Fusarium* del banano (FMB), coocurrencia de síntomas de marchitez por marchitez por *Fusarium* del banano (MFB) + pudrición blanda bacteriana (PBB) y Síntomas de pudrición blanda bacteriana (PBB). **A)** planta con amarillamiento de hojas causado por MFB. **B)** rajadura en pseudotallo causado por MFB. **C)** corte transversal del pseudotallo con necrosis de haces vasculares causado por MFB. **D)** rajadura en pseudotallo + PBB. **E)** Corte transversal del cormo con síntomas de MFB+PBB. **F)** corte transversal del pseudotallo con PBB. **G)** planta con amarillamiento de hojas causada por PBB. **G)** pseudotallo con PBB. **Fotos:** Jorge E. Vargas

La MBF fue observada en las cinco parcelas de estudio y la PBB solamente en la parcela 4. El complejo de ambas enfermedades (MFB+PBB) fue verificado en las parcelas 1, 2 y 4, respectivamente.

Hubo un aumento en el tiempo de la incidencia de MFB, PBB y de ambas enfermedades en los meses de junio y julio (Figura 2). Este aumento de la incidencia ocurrió tres meses después de las altas precipitaciones e inundaciones provocadas por el ciclón “Yacu” en Piura, Perú. Esto sugiere la relación de este evento climático con el aumento de la enfermedad en esas parcelas.

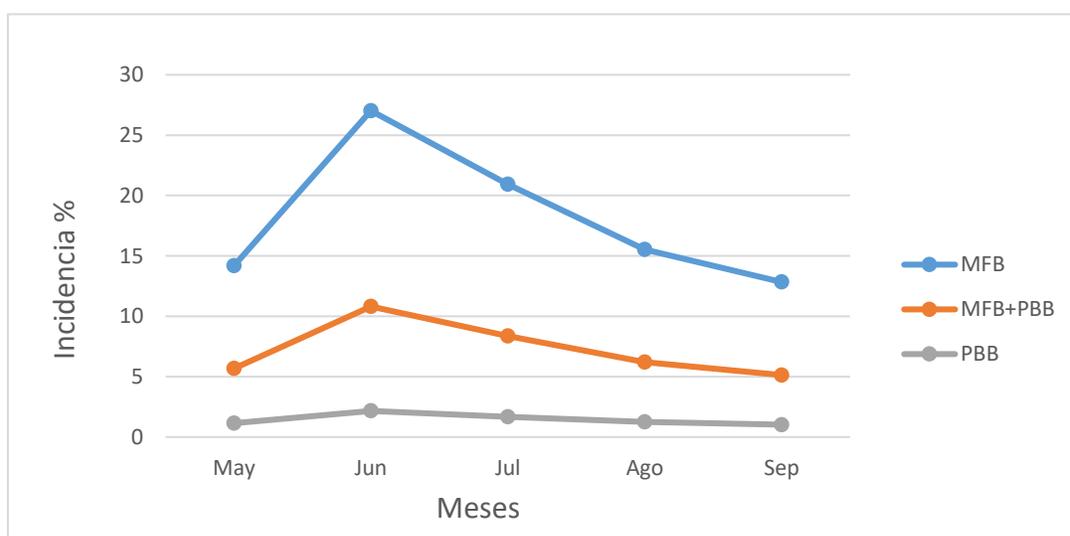


Figura 2. Incidencia mensual de plantas con marchitez por *Fusarium* del banano (MFB) raza 4 tropical, pudrición blanda bacteriana (PBB) y ambas enfermedades (MFB+PBB) en cinco parcelas de banano orgánico Cavendish en Piura, Perú durante el período de mayo a septiembre de 2023.

El 67% de las plantas evaluadas presentaron síntomas de MFB, el 30% síntomas de MFB+PBB y el 4% síntomas PBB (Figura 3). Esos resultados indican que aunque la MFB predomina, hay un porcentaje considerable (30%) de coocurrencia de MFB con la PBB.

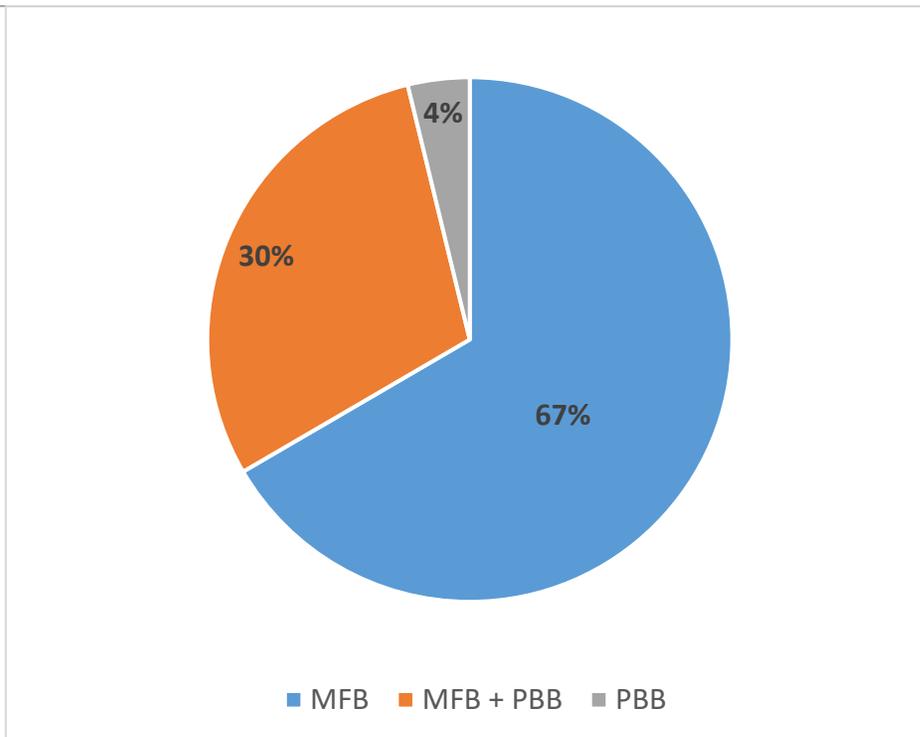


Figura 3. Incidencia acumulada de plantas con marchitez por *Fusarium* del banano (MFB), producción blanda bacteriana (PBB) y ambas enfermedades (MFB+PBB) en cinco parcelas de banano orgánico Cavendish afectadas por *Fusarium* raza 4 Tropical en Piura, Perú.

CONCLUSIONES

La ocurrencia de este complejo de enfermedades debe ser llevado en consideración porque eventualmente podría influir en la detección y manejo adecuado de estas enfermedades. Lo anterior también se aplica a áreas libres de Foc R4T, donde la PBB podría estar enmascarando la presencia de la MFB raza 4 tropical. La coexistencia de MFB y PBB sugiere la necesidad de capacitar a técnicos y productores para diferenciar y manejar correctamente estas enfermedades.

REFERENCIAS

1. Acuña R., Rouard M., Leiva A. M., Marques C., Olortegui J. A., Ureta C., Cabrera-Pintado R. M., Rojas J. C., Lopez-Alvarez D., Cenci A., Cuellar W. J., and Dita M. (2022). First Report of *Fusarium*

- oxysporum f. sp. cubense* Tropical Race4 Causing Fusarium Wilt in Cavendish Bananas in Peru. Plant Disease. 106:8. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-1951-PDN>.
2. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E.S.G. and Staver, C.P. 2018. *Fusarium* Wilt of Banana: Current Knowledge on Epidemiology and Research Needs Toward Sustainable Disease Management. Front. Plant Sci. 9:1468. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>.
 3. F. A. García-Bastidas, J. C. Quintero-Vargas, M. Ayala-Vasquez, T. Schermer, M. F. Seidl, M. Santos-Paiva, A. M. Noguera, C. Aguilera-Galvez, A. Wittenberg, R. Hofstede, A. Sørensen, and G. H. J. Kema. 2019. First Report of *Fusarium* Wilt Tropical Race 4 in Cavendish Bananas Caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. Plant Disease. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1922-PDN>.
 4. FAO, 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. Banana Market Review 2019. Rome. <https://www.fao.org/3/cb0168en/cb0168en.pdf>.
 5. R. Mejías Herrera, Y. Hernández, F. Magdama, D. Mostert, S. Bothma, E. M. Paredes Salgado, D. Terán, E. González, R. Angulo, L. Angel, Y. Rodríguez, R. Ortega, A. Viljoen, and E. E. Marys. 2023. First Report of *Fusarium* Wilt of Cavendish Bananas Caused by *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* Tropical Race 4 in Venezuela. Plant Disease. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-23-0781-PDN>.

Epidemiología del marchitamiento por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 1 del banano Gros Michel (*Musa* AAA) y plátano Isla (*Musa* AAB)

Juan Carlos Rojas Llanque^{1*}; Esdwin Núñez Ticlahuanca¹; Rosa Cabrera Pintado²; Edgar Maldonado Duque³

¹EEA El Chira - Instituto Nacional de Innovación Agraria, Piura, Perú; ²Instituto Nacional de Innovación Agraria, Lima, Perú; ³Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.

*Autor de

Correspondencia:

Juan Carlos Rojas Llanque
jcrojasll@gmail.com

Contribución:

Científica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Rojas LJC, Núñez TE, Cabrera PR y Maldonado DE. 2024. Epidemiología del marchitamiento por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 1 del banano Gros Michel (*Musa* AAA) y plátano Isla (*Musa* AAB). *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 43
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2443>

RESUMEN

Se evaluó la epidemiología del Marchitamiento por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 1 en dos variedades susceptibles como es el banano gros Michel (*Musa* AAA) y el plátano Isla (*Musa* AAB), se realizaron inoculaciones en plantines de meristemo en raíces cortada y raíces sin cortar, con el fin de registrar las sintomatologías en forma externa e interna y el tiempo de infección bajo condiciones controladas. Los resultados obtenidos indicaron que los tratamientos donde se cortaron raíces y fueron inoculadas con aislamientos de *Fusarium* raza 1 mostraron mayor grado de severidad llegando hasta el grado 4 (30-50%) esto se presentó con el banano Gros Michel, el plátano isla con raíz cortada su severidad llevo hasta grado 2 (5-15%). Los otros tratamientos donde las raíces no fueron cortados su grado de severidad estuvo en el grado 1 (1-5%).

Palabras clave: *Musa* spp, Gros Michel, Iholena, *Fusarium*, Fitosanidad.

ABSTRACT

The epidemiology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1 in two susceptible varieties such as the Gros Michel banana (*Musa* AAA) and the Isla banana (*Musa* AAB), inoculations were carried out on meristem seedlings in cut roots and uncut roots, in order to record the symptoms externally, and internal and infection time under controlled conditions. The results obtained indicated that the treatments where roots were cut and were inoculated with isolates of *Fusarium* race 1 showed a higher degree of severity, reaching grade 4 (30-50%), this occurred with the Gros Michel banana, the island banana with root cut, its severity reached grade 2 (5-15%). The other treatments where the roots were not cut, their severity level was grade 1 (1-5%).

Keywords: *Musa* spp, Gros Michel, Iholena, *Fusarium*, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El marchitamiento del banano por *Fusarium* raza 1 ha sido un problema en Perú desde 1970. A mediados del siglo XX, la enfermedad conocida como Marchitez por *Fusarium* devastó el cultivar Gros Michel en América y Centroamérica por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) raza 1. Las variedades susceptibles a Foc raza 1 se han mantenido en producción bajo diferentes sistemas de producción, el banano AAA cv. Seda (Gros michel) se desarrolla en sistemas de producción con otras especies (café, cacao, árboles y otros), pasó de un sistema de monocultivo a un sistema agroecológico diversificado. En relación al plátano AAB cv. Isla (Iholena) los productores han mantenido un sistema de producción monocultivo semi intensivo con una duración del cultivo que no supera los tres años. En abril del 2021, se reporta la presencia de *Fusarium* raza 4 tropical en campos de producción de banano orgánico en el valle del río Chira en Sullana.

De acuerdo con Dong et al. (2014) los síntomas de clorosis provocada por la enfermedad son visibles después de 15 días de la inoculación, en las hojas basales y su posterior progreso hacia las hojas jóvenes (INTAGRI).

La raza 1, afecta a Gros Michel y Manzano (AAB) (López, 2019). Los síntomas se iniciaron a observar a los 25 días con temperaturas mínimas de 18 °C y máximas de 35 °C, después de la inoculación con amarillamiento en el borde de las hojas más viejas hacia la nervadura centra con mayor agresividad a los 60 días. La penetración la realiza directamente por la cofia de la raíz, con la ayuda de enzimas degradativas o mediante el crecimiento intercelular, momento a partir del cual procede la colonización, desde el ápice de la raíz (Gordon, 2017).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó dentro del invernadero ubicado en la Estación Experimental Agraria El Chira, Piura, Perú, se utilizaron plantas de meristemo de Gros Michel e Isla, los cuales fueron trasplantadas a maceteros con un sustrato de suelo agrícola el cual fue desinfectado previamente para su posterior inoculación con cepas de *Fusarium* raza 1.

Evaluación de la Epidemiología

Se evaluaron 10 tratamientos conformada por combinaciones de variedades, concentraciones del inoculo y formas de aplicación en raíces: 1) Gros Michell raiz

cortada+1x10⁴ (GMRC4), 2) Gros Michell raiz sin cortar+1x10⁴ (GMRSC4),3) Isla Raiz cortada + 1x10⁴ (IRC4), 4) Isla Raiz sin cortar + 1x10⁴ (IRSC4), 5) Gros Michell raiz cortada+1x10⁵ (GMRC5), 6) Gros Michell raiz sin cortar+1x10⁵ (GMRSC5),7) Isla Raiz cortada + 1x10⁵ (IRC5), 8) Isla Raiz sin cortar + 1x10⁵ (IRSC5) y testigos sin aplicación 9) Gross Michel (TGM) , 10) Isla (TI). Se realizó la inoculación del patógeno al momento de trasplantar los plantines a los maceteros, y a los 21 días se observaron los primeros síntomas visibles externos en los plantones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos indicaron que los tratamientos donde se cortaron raíces y fueron inoculadas con aislamientos de *Fusarium* raza 1 (Figura 2) mostraron mayor grado de severidad llegando hasta el grado 4 (30-50%) esto se presentó con el banano Gross Michel, el plátano isla con raíz cortada su severidad llego hasta grado 2 (5-15%). Los otros tratamientos donde las raíces no fueron cortados su grado de severidad estuvo en el grado 1 (1-5%) (Figura 1).

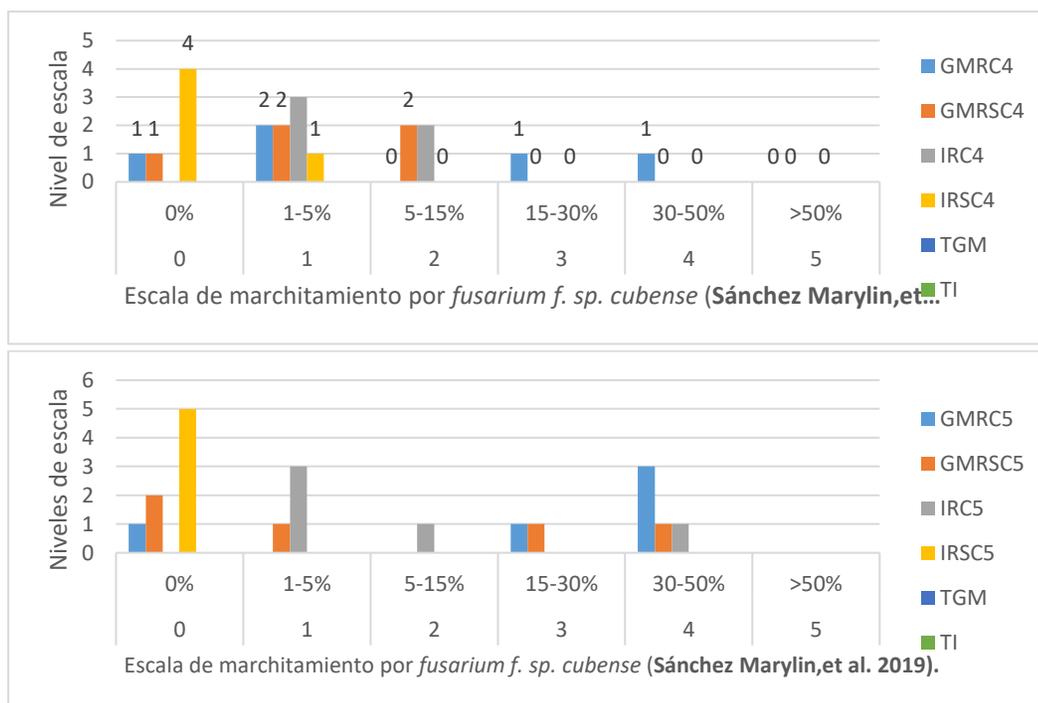


Figura 1. Grado de Severidad en síntomas de cormo afectados por *Fusarium oxysporum* raza 1 con 1x10⁴ UFC



Figura 2. Aislamiento del *Fusarium oxysporum* raza 1 y evaluación del grado de severidad en los cormos de los plantones.

CONCLUSIÓN

Estos resultados demuestran que cuando existen factores que afecten la sanidad y desarrollo del sistema radicular, el riesgo de infección por *Fusarium oxysporum* raza 1 será más alto.

REFERENCIAS

1. Cruz Arévalo, Scott David, Romero Meza, Ricardo Fernando, Cedeño Moreira, Ángel Virgilio, Verdoso Valencia, Ángel Vinicio, Peñafiel Jaramillo, María Fernanda, & Canchignia Martínez, Hayron Fabricio. (2019). Densidad estomática, contenido de clorofila y relación filogenética en 17 cultivares de *Musa* spp. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 47-54.
2. Dita, M.A., Waalwijk, C., Paiva, L.V., Souza Jr., M.T. and Kema, G.H.J. (2011). a greenhouse bioassay for the *fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* x 'grand naine' (*MUSA*, AAA, CAVENDISH SUBGROUP) INTERACTION. *Acta Hortic.* 897, 377-380
3. Huarhua M., Aragón L., Flores J., Tsuzuki R., Arie T. 2021. Primer reporte de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* raza 1 aislada de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) proveniente de la Costa central del Perú.
4. López-Zapata, Silvia & Zapata, Jairo. (2019). Manejo integrado del mal de Panamá [*Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp.
4. Sánchez Marylin, Alfaro Fabiola, Carr Claudiana, Castillo Andrés, Delgado Juan, Guzmán Mauricio. Dirección de Investigaciones Corporación Bananera Nacional. Hoja divulgativa, 2019.

Behavior and use of quaternary ammonium-based disinfectants in biosafety protocols against *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* Race 1 and tropical Race 4

Laura Arango-Palacio^{1,2}, Andrés M. Pinzón-Núñez^{2*}, Lilliana Hoyos-Carvajal³, Daniel F. Ospina-Galeano³, Diego F. Feria-Gómez², Luisa F. Izquierdo-García⁴, Mónica Betancourt-Vásquez⁴, Sebastián Zapata-Henao^{2,3*}

¹Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín-Antioquia 050022, Colombia; ²Banana Research Center CENIBANANO-AUGURA, Carepa-Antioquia 057850, Colombia; ³National University of Colombia, campus Medellín, 050022, Colombia; ⁴Colombian Corporation for Agricultural Research, AGROSAVIA. C.I Tibaitatá. Km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca 250047, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Sebastián Zapata Henao,
Andrés M. Pinzón Núñez
dircenibanano@augura.com.co
fitopatologia@augura.com.co

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Arango-Palacio L, Pinzón-
Núñez AM, Hoyos-Carvajal
L, Ospina-Galeano DF,
Feria-Gómez DF,
Izquierdo-García LF,
Betancourt-Vásquez M y
Zapata-Henao S. 2024.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):
44
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2444](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2444)

ABSTRACT

The banana is one of Colombia's main export products. However, production is seriously affected by Fusarium wilt of Banana (FWB), which is the most destructive disease caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* Tropical Race 4 (Foc TR4). Currently, management strategies focus on containment and biosecurity protocols to prevent its spread to territories that are free of this disease. This study aimed to evaluate 9 quaternary ammonium-based disinfectants (QAC) *in vitro* in Colombia on reproductive (microconidia and macroconidia) and resistance structures (chlamydospores) of Foc Race 1 (R1) and Tropical Race 4 (TR4), with and without soil, to determine the influence of organic matter on the action of QACs. A method for inhibiting the action of QACs was standardized and evaluated at 1,200 ppm with a contact time of ≤ 30 seconds, while evaluating the soil-inoculum and soil-disinfectant interaction. The efficacy of QACs was 100% in the reproductive and resistance structures of Foc R1 and TR4 without soil and in the soil-inoculum interaction. However, in the soil-disinfectant interaction, only QAC4 controlled the pathogen at 100%. The presence of organic matter influenced the biocidal action of the QACs. Soil decreased the efficacy of the QACs and, therefore, must be removed from contaminated boots before treatments are applied.

Keywords: fungus, microconidia, macroconidia, chlamydospore, efficacy, banana, Fitosanidad.

INTRODUCCIÓN

The banana is one of the more important tropical fruits in Colombia and the world (Vásquez-Tirado and Cabrales-Herrera, 2020) and is a staple food in developing countries because of its high nutritional value (FAO, 2020). In that context, Latin American countries stand out as the main exporters, with Colombia ranked fifth for



exporting countries. According to data from the Banana Growers Association of Colombia (AUGURA, 2021), there are currently 52,270 ha, distributed in the Urabá region with 34,770 ha, which represents a productivity of 2,007 boxes*ha⁻¹, followed by the states of Magdalena and La Guajira with 17,500 ha.

Fusarium wilt, one of the more devastating fungal diseases in the history of bananas, threatens production (Dita *et al.*, 2018). *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), the causal agent of the disease, is a natural soil-dwelling fungus that causes destructive effects on plants, blocking the vascular system, preventing the absorption of water and nutrients, and causing wilting and then death (Dita *et al.*, 2018). The presence of Foc TR4 in Colombia, specifically in La Guajira in 2019 (García-Bastidas *et al.*, 2019), subsequently reported by the National Agricultural Health Service of Perú (Acuna *et al.*, 2021) and recently in Venezuela (INSAI, 2023), have generated great concern and alerted the Latin American banana industry, launching various containment and prevention strategies. On the other hand, in Colombia (Urabá region) there are approximately 1000 ha with “Gros Michel” variety affected with Foc R1. Conventional management of Foc TR4 through the use of quaternary ammonium compounds (QACs) is an alternative with prevention protocols. QACs are surfactants that penetrate the membranes of microorganisms, destroying proteins and nucleic acids, which leads to cell death (Gerba, 2015). Finally, considering the threat that Foc TR4 has generated in the banana industry, the aim of this work was evaluating the biocidal action and effectiveness of commercial disinfectants available in the Colombian market in the absence and presence of soil on the survival of reproductive and resistance structures of different physiological races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* to carry out a disinfection plan on banana farms and in strategic places, thereby containing this disease and determine the influence of organic matter and texture on its action.

MATERIALS AND METHODS

R1 and TR4 Isolates. The *F. oxysporum* f.sp. *cubense* Race 1 (Foc R1) strain IB, was provided by the fungal collection of the laboratory of the Banana Research Center (Cenibanano). The *F. oxysporum* f.sp. *cubense* Tropical Race 4 (Foc TR4) strain 190038, was provided by the Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Both strains were cultivated on Potato Dextrose Agar (PDA), at a concentration of 100 ppm to prevent bacterial contamination and incubated at 27 °C for 7 days.

Inoculum production. Once the strain was grown, the mycelial clumps were rinsed with 10 mL of sterile distilled water (SDW) and filtered using a sterile miracloth to

separate the spores from the rest of mycelia. Spore concentration to Foc R1 and R4T was determined using a Neubauer hemocytometer and adjusted to 1×10^5 conidia. mL⁻¹ before use in the disinfectant experiments. For the Foc R1 chlamyospores production, soil with a clay loam texture obtained from a conventional banana crop was used to prepare soil broth following the modified protocol described by (Nguyen *et al.*, 2019). For the Foc TR4 chlamyospores production, the protocol developed by the National Banana Corporation of Costa Rica (CORBANA) and modified by (Izquierdo-García *et al.*, 2021) was used.

Disinfectants. A total of 9 commercial disinfectants were tested (Table 1). Based on previous reports on effective QAC doses (Nguyen *et al.*, 2019), the concentration of all QAC disinfectants was adjusted to 1,200 ppm. The contact times evaluated in the reproductive and resistance structures, with and without soil, were standardized at ≤ 30 seconds, simulating the time used by operators during the footbath disinfection process.

Table 1. QAC disinfectants and chemical characteristics evaluated *in vitro* against physiological races (R1 and TR4) of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense*.

Disinfectant (Treatments)	Active Ingredient	QAC Generation
QAC1	Didecyldimethylammonium chloride 12%	4st
QAC2	Didecyldimethylammonium chloride 12%	4st
QAC3	Alkyldimethylbenzylammonium chloride 80%	3st
QAC4•	Di(octyl/decyl) chloride 1% + Benzalkonium chloride 13,5%	5st
QAC5•	Di(octyl/decyl) chloride 0,4 % + Benzalkonium chloride 1%	5st
QAC6	Dimethylbenzil ammonium chloride 12%	5st
QAC7	Quaternary ammonium mixture 10%	5st
QAC8	Quaternary ammonium mixture 10%	5st
QAC9	Quaternary ammonium mixture 8%	5st

To evaluate all situations that can be found in the field, three different tests were carried out simulating: i. Footbath with a QAC disinfectant solution free of soil contamination at a concentration of 1,200 ppm; ii. Footbath with a clean QAC disinfectant solution at 1,200 ppm and contaminated with soil; and iii. Footbath totally contaminated with soil. Each testing efficacy used macro, microconidia and chlamyospores from Foc R1 and TR4. For each of the tests, an aliquot of 100 μ L was plated on PDA supplemented with 100 ppm chloramphenicol. All plates were

incubated at 27 °C for 48 h, and the number of CFU.mL⁻¹ was estimated. For the CFU quantification, a 1 x 10⁻¹ dilution was made to facilitate counting. The control treatment consisted of 100 µL of the inoculum suspension, 900 µL of SDW, and 1 mL of the inhibitor.

Inhibitor Standardization (Lethen Broth). To inhibit the effect of the QAC disinfectants after a contact time of ≤ 30 seconds Lethen-modified broth was used, composed of meat extract and soy peptone. Initially, six treatments were defined with different concentrations of the inhibitor (T1 = 43.8 g/L, T2 = 87.6 g/L, and T3 = 131.4 g/L) at a concentration of 1,200 ppm, T4 = 131.4 g/L at 2,400 ppm, T5 = 131.4 g/L SDW and T6 = Control.

Data and statistical analysis. The experiment design for each of the trials was completely randomized with the same number of replicates. For each of the treatments, three biological replicates were carried out with three experiment units. The CFUs formed in the culture medium, the concentration of the disinfectants (ppm), the assumptions of normality and the homoscedasticity were carried out using the Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) and Bartlett (P<0.05) tests. Since the data did not meet these assumptions, the Kruskal-Wallis rank sum test (P<0.05) was used to represent the significance of the differences. All analyses were performed with the statistical software R (v. 4.1.0), using the agricolae, nortest and ggplot2.

RESULTS AND DISCUSSION

Inhibitor Standardization (Lethen Broth). To determine the efficacy of QAC disinfectants against Foc R1 and TR4, initially, the inhibitor was standardized. The concentration of the Lethen broth presented the best efficiency at 131.4 g/L (3 times more than the recommended concentration), corresponding to T3, with growth of the pathogen. In treatments T1, T2 and T4, no growth of the pathogen was observed, indicating that the QAC continued to act during the incubation period (Figure 1).

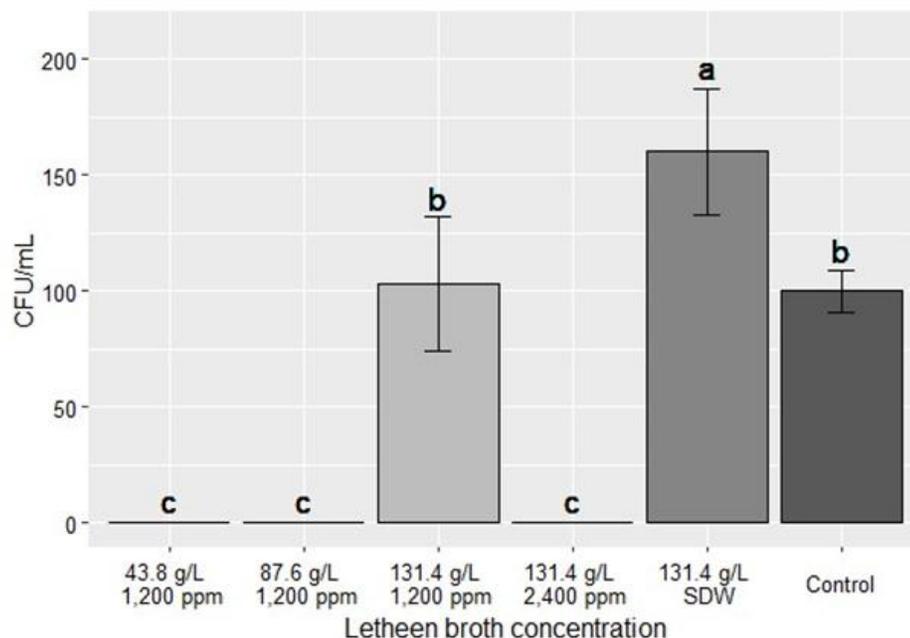


Figure 1. Average colony forming units (CFU) of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* R1 estimated for each treatment. Different letters denote significant between treatments according to Kruskal-Wallis non-parametric tests at 5% probability.

Efficacy of disinfectants. The QAC disinfectants evaluated at 1,200 ppm in the absence of soil showed 100% inhibition for the growth of microconidia, macroconidia (Figure 2A) and chlamydospores (Figure 2B) of both Foc strains with a contact time \leq 30 seconds as compared to the control treatment. In the soil-inoculum interaction, the QACs showed 100% biocidal action in the reproductive structures of Foc R1 and Foc TR4, except for the QAC6 product, corresponding to the active ingredient dimethylbenzyl ammonium chloride at 12%, which allowed the growth of the reproductive structures of Foc R1 (Figure 2C). On the other hand, QAC6 and QAC7 did not fully control the Foc TR4 isolate in the resistance structures (Figure 2D). In the interaction between soil and disinfectant, the QAC4 product, with the active ingredient Di(octyl/decyl) chloride 12% + Benzalkonium chloride 25.5%, had an efficiency of 100% for the reproductive and resistance structures, as compared to the control and other QACs (Figure 2E, F).

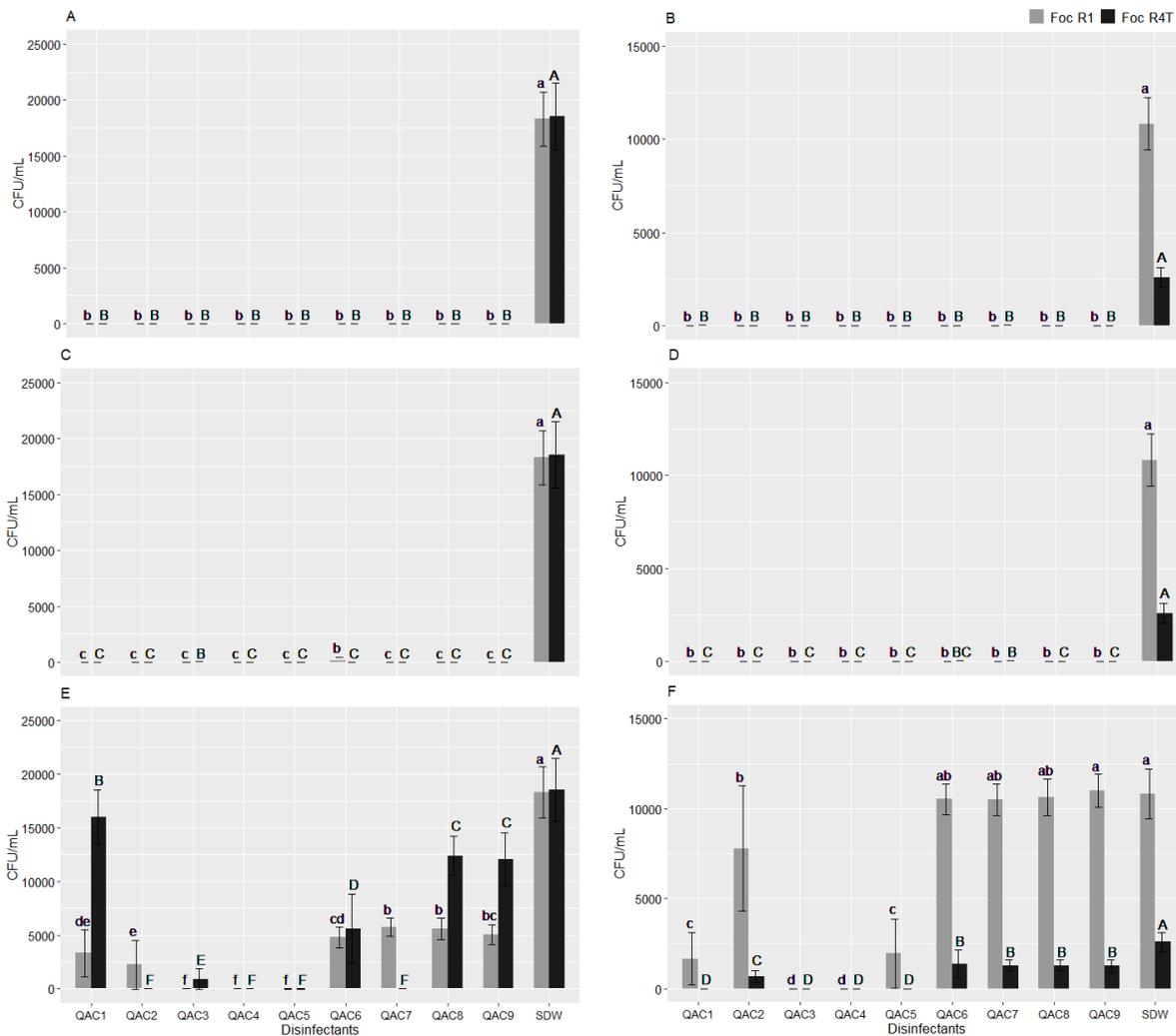


Figure 2. Efficiency of QAC disinfectants against propagules of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* R1 (■) and TR4 (■) after ≤ 30 seconds of contact A, B. Testing efficacy in the absence soil C, D. Testing efficacy in the presence soil (soil-inoculum interaction) and E, F. Testing efficacy in the presence soil (soil-disinfectant interaction) A, C, E. Micro and macroconidia B, D, F. Chlamydoconidia. Small letters indicate differences between treatments against (R1), and Capital letters indicate differences between treatments against (TR4). The bars with the same letter do not show significant differences between treatments according to Kruskal-Wallis non-parametric tests at 5% probability.

The efficacy of 9 commercial quaternary ammonium-based disinfectants (QACs) were evaluated at 1,200 ppm with a contact time of ≤ 30 seconds (operator time in the footbath) against Foc R1 and TR4, with and without soil. In the absence soil, all QAC disinfectants inhibited the propagules of the pathogen. Similar results were obtained by (Nguyen *et al.*, 2019; Izquierdo-García *et al.*, 2021; Salacinas *et al.*, 2022), with 100%

inhibition of reproductive and resistance structures of *F. oxysporum* f.sp. *cubense* when subjected to QAC disinfectants at concentrations of 1,200 ppm. In the presence of soil, the efficacy of the disinfectants was reduced. Indeed, for eight out of nine disinfectants, only QAC4, with the active ingredient Di(octyl/decyl) chloride 12% + Benzalkonium chloride 25.5%, showed an efficiency of 100% for reproductive and resistance structures of Foc R1 and TR4. QAC4 features two active ingredients at different concentrations, 12% Di-(Octyl/Decyl) Dimethylammonium Chloride and 25.5% Benzalkonium Chloride. A 1%, dilution generates a final concentration of 1,200 and 2550 ppm for Di-(Octyl/Decyl) chloride and benzalkonium chloride, respectively.

CONCLUSION

This study provides scientific evidence to recommend locally-available QAC disinfectants that limit the spread of Foc R1 and TR4. However, since evidenced for most product effectiveness against physiological races of *F. oxysporum* f.sp. *cubense* was not achieved in the presence of soil, washing boots, tools, equipment and essential vehicles used in banana production systems with water, before any disinfection process, is essential to avoid introducing this pathogen to areas that are free of this disease. On the other hand, the treatment water and final disposal of soil resulting from the washing and disinfection processes should be considered.

REFERENCES

1. Acuna, R., Rouard, M., Leiva, A. M., Marques, C., Olortegui, J. A., Ureta, C., Cabrera-Pintado, R. M., Rojas, J. C., Lopez-Alvarez, D., Cenci, A., Cuellar, W. J., and Dita, M. (2021). First Report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 Causing Fusarium Wilt in Cavendish Bananas in Peru. In *Plant Disease* (Vol. 106, Issue 8, p. 2268). American Phytopathological Society. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-1951-PDN>
2. AUGURA. (2021). Coyuntura bananera 2021. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA-2021.pdf>
3. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., and Staver, C. P. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 871). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>
4. García-Bastidas, F. A., Quintero-Vargas, J. C., Ayala-Vasquez, M., Schermer, T., Seidl, M. F., Santos-Paiva, M., Noguera, A. M., Aguilera-Galvez, C., Wittenberg, A., Hofstede, R., Sørensen, A., and Kema, G. H. J. (2019). First Report of Fusarium Wilt Tropical Race 4 in Cavendish Bananas Caused

- by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Disease*, 104(3), 994–994. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1922-PDN>
5. INSAI. (2023). Declaración de Emergencia Fitosanitaria en la República Bolivariana de Venezuela, ante la presencia del hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Foc R4T) agente causal de la Marchitez por Fusarium en Musáceas.
 6. Izquierdo-García, L. F., Carmona, S. L., Zuluaga, P., Rodríguez, G., Dita, M., Betancourt, M., and Soto-Suárez, M. (2021). Efficacy of disinfectants against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 isolated from La Guajira, Colombia. *Journal of Fungi*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/jof7040297>
 7. Nguyen, T. V., Tran-Nguyen, L. T. T., Wright, C. L., Trevorrow, P., and Grice, K. (2019). Evaluation of the efficacy of commercial disinfectants against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1 and tropical race 4 propagules. *Plant Disease*, 103(4), 721–728. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-18-0453-RE>
 8. Vásquez Tirado, E., and Cabrales Herrera, E. (2020). Identification and Economic Importance of Banana Phytoparasitic Nematodes in Antioquia Uraba, Colombia. *Athens Journal of Sciences*, 7(2), 77–88. <https://doi.org/10.30958/ajs.7-2-2>
 - 9.

Evaluación de fungicidas para reducir la severidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza 1 en plantas de banano manzano

Mario Orozco Santos¹; Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán¹

¹Campo Experimental Tecomán. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México.

*Autor de

Correspondencia:

Manuel de Jesús Bermúdez Guzmán
bermudez.manuel@inifap.gob.mx

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Orozco SM y Bermúdez GMJ. 2024. Evaluación de fungicidas para reducir la severidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza 1 en plantas de banano manzano.

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 45
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2445>

RESUMEN

El efecto de los fungicidas ADEPIDYN® Technology y Tiabendazol fue evaluado para el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* Raza 1 (FOCR1) en plantas de banano Manzano (Silk: AAB). Dos aplicaciones (0/30 y 0/60 días después de la inoculación del hongo) de los fungicidas ADEPIDYN® Technology y Tiabendazol, a los 192 días registraron porcentajes de infección por FocR1 en los cormos de 3-10% y 4-15%, respectivamente. Asimismo, los porcentajes de daño con los mismos fungicidas fueron de 2-4% y 4-10% cuando se aplicaron a los 0 y 60 días de la inoculación. Las plantas testigo (inoculadas con FOCR1) tuvieron un daño en el cormo de 60-70%. No se detectó toxicidad con ninguno de los fungicidas evaluados.

Palabras clave: Fungicidas, marchitez por *Fusarium* Raza 1, banano, Fitosanidad.

ABSTRACT

The effect of the fungicides ADEPIDYN® Technology and Tiabendazol was evaluated for the control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* Race 1 (FOCR1) in banana plants variety Manzano (Silk: AAB). Two applications (0/30 and 0/60 days after fungus inoculation) of the fungicides ADEPIDYN® Technology and Tiabendazol, at 192 days recorded percentages of FOCR1 infection in the corms of 3-10% and 4-15%, respectively. Likewise, the percentages of damage with the same fungicides were 2-4%, and 4-10% when they were applied 0 and 60 days after inoculation. Control plants (inoculated with FocR1) had a corm damage of 60-70%. No toxicity was detected with any of the fungicides evaluated.

Keywords: Fungicides, *Fusarium* wilt Race 1, banana, phytosecurity.



INTRODUCCIÓN

El banano es la fruta tropical más cultivado en México y una de las más importantes a nivel mundial. Este cultivo es afectado por diversas enfermedades, siendo las de origen fungoso las más importantes. La enfermedad de la marchitez por *Fusarium* es causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) es considerada la enfermedad más peligrosa que amenaza la producción mundial de este cultivo, específicamente la Raza 4 Tropical (FOCR4T). En México FOCR4T no está presente. Sin embargo, FOCR1 es un problema serio en el cultivar Manzano (Orozco-Santos, 2013). Esta raza del hongo se está utilizando como modelo biológico para diversos estudios y se espera que pueda servir la información generada para emplearse ante una eventual presencia de FOCR4T. Dada la rápida diseminación que ha tenido FOCR4T en el mundo, los esfuerzos se han enfocado en la evaluación de moléculas fungicidas para frenar su diseminación y controlar a este fitopatógeno. Para lo anterior, se han evaluado diversos fungicidas de origen químico (Cannon et al., 2022), biológico y combinaciones de ambos (Lishma y Cherian, 2021; Mohana-Pradeep et al., 2020; Rodríguez-Castro et al., 2020) para el control de FOCR4T.

En estudios previos, los fungicidas procloraz y propiconazol inhibieron el crecimiento micelial de FOCR4T. Asimismo, El benomyl y los fungicidas inhibidores de la desmetilación redujeron la severidad cuando se aplican como tratamiento de inmersión de raíces, mostrando una reducción de la enfermedad de hasta un 80.6 % (Nel et al., 2007). Estos fungicidas podrían ayudar a proteger los bananos de futuras pérdidas de rendimiento por FOCR4T (Cannon et al., 2022). Para el control de FOC, alternativamente, el uso de productos biorracionales ha tenido mayor auge por no causar daños al medio ambiente. En este sentido, la gran mayoría de los trabajos publicados están enfocados en el control de FOCR4T por la amenaza potencial que representa para el cultivo del banano. Algunos productos biorracionales que se han evaluado con elevados porcentajes de inhibición micelial para FOCR4T son el uso extractos de hojas de *Datura* y de *chirimoya*, ambo a dosis del 10% presentaron un 85% de inhibición (Mohana-Pradeep et al., 2020).

El uso de los productos biorracionales comerciales PGPR Mix II, PGPM, *Trichoderma viride* y *Pseudomonas fluorescens* presentaron todos ellos 100% de inhibición de FOCR4T (Lishma y Cherian, 2021). En México, se ha evaluado el extracto de gobernadora (*Larrea tridentata*) para el control de FOCR1 reportándose 100% de inhibición micelial en condiciones *in vitro* (Rodríguez-Castro et al., 2020). Sin embargo, todas estas evaluaciones se han realizado en condiciones *in vitro*. Por lo anterior, resulta necesario evaluar su efecto en condiciones de campo para saber si

tendrán el mismo comportamiento con las dosis evaluadas *in vitro*. Los resultados del presente trabajo serán de utilidad para contar con nuevas moléculas que permitan controlar a FocR1 y estar preparados para la presencia de FocR4T.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar experimental y material vegetativo. El experimento se estableció en las instalaciones del Campo Experimental Tecomán, localizado en el estado de Colima, México. Se utilizaron plantas de banano cultivar 'Manzano' (*Musa* AAB, subgrupo Silk), el cual es altamente susceptible a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1. Las plantas fueron obtenidas de “hijos” o vástagos colectados de una plantación comercial, los cuales se establecieron para enraizamiento durante 25 días en un sustrato a base de 30% de polvillo de coco, 20% de humus de lombriz y 50% de suelo. Las plantas enraizadas fueron transplantadas a macetas con 20 kg de suelo esterilizado.

Aislamiento y reproducción masiva de FOCR1 y cuantificación de esporas. El hongo fue aislado de plantas enfermas del cultivar Manzano colectadas en un huerto del municipio de Santiago Ixc., Nayarit, México. El hongo fue obtenido en medio de cultivo agar de dextrosa y papa (PDA) suplementado con los antibióticos cloranfenicol y estreptomycinina. Estas placas fueron incubadas a 25°C en condiciones de oscuridad hasta observar crecimiento micelial.

La cepa de FocR1 purificada fue el punto de partida para la producción masiva de esporas del hongo utilizando el medio de cultivo LSPDA (agar de dextrosa y papa 12.5 g/L, agar-agar 19.5 g/L) según lo descrito por Moradi *et al.*, (2017). Estas placas fueron incubadas a 25°C en condiciones de oscuridad hasta que los hongos colonizarán la totalidad de la placa y se les realizó varios barridos con agua destilada estéril tallando las superficies de estas. Las suspensiones celulares de esporas fueron filtradas con una malla de gasa estéril para retirar los residuos de agar y se colocaron en tubos de 50 mL. Las muestras fueron almacenadas a 4°C hasta el momento de su uso.

Inoculación de plantas. La inoculación se realizó con una solución de 1×10^6 estructuras reproductivas (macro y micro conidias) por mL de agua. Se inoculó una planta por bolsa de 3 a 5 días antes de la aplicación de los tratamientos. Previo de la inoculación se realizaron heridas a las raíces para favorecer la infección por FocR1.

Evaluación de fungicidas para FOCR1. Se evaluó una única dosis de cada fungicida: **1)** ADEPIDYN® Technology (Miravis 200 SC) 0.114 g i.a./planta y **2)** Tiabendazol

(Tecto 60) 0.342 g i.a./planta. La primera aplicación se realizó al inicio del experimento y considerando dos intervalos de tiempo (30 y 60 días) se realizó la segunda aplicación. Se utilizaron dos tratamientos testigos, uno no inoculado y otro inoculado con FocR1, ambos sin tratamiento fungicida, por lo que en total se analizaron 8 tratamientos. La aplicación de los fungicidas se realizó en drench.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar. La unidad experimental consistió en seis plantas de banano individuales en macetas por tratamiento (ocho) y se realizaron cuatro repeticiones. Se evaluaron las variables de porcentaje de daño en planta y cormos (se utilizó la escala propuesta por Dita *at al.*, 2021) y fitotoxicidad. Las evaluaciones se realizaron a los 30, 60, 92, 121, 149 y 191 días después de la primera aplicación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de fungicidas sobre severidad de FOCR1 en plantas. En la primera evaluación realizada a los 30 días después de la primera aplicación, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos testigo y el índice de severidad de la enfermedad entre las plantas tratadas con los tres fungicidas en diferente frecuencia de aplicación (0/30 y 0/60) (Cuadro 1). A los 92 días después de la aplicación, se observaron diferencias significativas de severidad de marchitez por *Fusarium* entre los tratamientos, pero sin una tendencia clara. A partir de los 121 días después de la primera aplicación, se observó una tendencia sobre el efecto de los tratamientos de fungicidas sobre la severidad de FOCR1 en las plantas de banano Manzano. Los mejores tratamientos que redujeron la severidad de la enfermedad fueron ADEPIDYN® Technology aplicado a los 0/30 y 0/60 días con un índice de 0.8 y 0.3, respectivamente. las plantas inoculadas con FOCR1 tuvieron una severidad de 3.7. En el muestreo realizado a los 149 días después de la primera aplicación, se observó una tendencia similar que en el muestreo de los 121 días. En el muestreo final (191 días), todos los tratamientos de fungicidas redujeron de manera significativa la severidad de la enfermedad en comparación al testigo inoculado con FOCR1. El fungicida ADEPIDYN® Technology aplicado a los 0/30 y 0/60 registró un grado de infección en el follaje de 0.7 y 0.2, en tanto que el Tiabendazol presentó valores de 0.5 y 0.3. El testigo inoculado con FOCR1 registró la mayor severidad con un 3.2 de infección. En las plantas testigo sin inocular la infección fue nula.

Efecto de fungicidas sobre la severidad de FOCR1 en cormos. La información sobre el efecto de la aplicación de los fungicidas (ADEPIDYN® Technology y Tiabendazol) sobre la severidad de FOCR1 en cormos de banano Manzano se muestra en la Figura 1. Esta variable es la más importante en este tipo de estudios, ya que refleja la efectividad de los fungicidas en el órgano de la planta donde ocurre la infección principal del patógeno. Por lo tanto, el grado de severidad de la enfermedad en los tratamientos representa la actividad antifúngica de los productos evaluados. En el último muestreo realizado a los 191 días, se tuvo una marcada respuesta de los fungicidas sobre la severidad de FOCR1 en el cormo de las plantas. Los dos fungicidas (ADEPIDYN® Technology y Tiabendazol) aplicados a los 0/30 y 30/60 días de la inoculación, redujeron el daño en cormo, registrando un índice de daño de 0.3 a 1.9. No hubo diferencia significativa entre los tres fungicidas evaluados, así como en el momento de aplicación después de la siembra. En cambio, las plantas testigo inoculadas con FOC raza 1 presentaron en promedio un valor de 3.7.

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de tres fungicidas sobre la severidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1 en plantas de banano Manzano.

Tratamiento	MDA (Días)	Severidad de FOC Raza 1 en plantas ^z					
		Muestreo (días después de la primera aplicación)					
		30 DDA	60 DDA	92 DDA	121 DDA	149 DDA	191 DDA
Testigo no inoculado	-	0 a	0 a	0 a	0 a	0.3 a	0 a
Testigo inoculado	-	0.8 a	0.2 a	1.0 a	2.7 b	1.3 b	3.2 b
ADEPIDYN® Technology	0/30	0 a	0 a	2.3 ab	0.8 a	0.6 a	0.7 a
Tiabendazol	0/30	0.7 a	0 a	3.0 b	1.7 ab	0.8 ab	0.5 a
ADEPIDYN® Technology	0/60	0 a	0 a	1.7 ab	0.3 a	0.2 a	0.2 a
Tiabendazol	0/60	0 a	0 a	1.7 ab	0.7 a	0.9 ab	0.3 a

^z = Las medias separadas con la misma letra entre columnas indican que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo con la Prueba de Tukey al 95% de probabilidad. MDA = Momento de aplicación.

Los resultados del presente estudio demostraron la eficacia biológica de los fungicidas (ADEPIDYN® Technology y Tiabendazol) en la reducción de la severidad de la marchitez por *Fusarium* causado por la Raza 1 en banano Manzano. En los últimos años, se han realizado trabajos de investigación buscando alternativas químicas (Cannon *et al.*, 2022) y con productos biorracionales (Lishma y Cherian, 2021; Mohana-Pradeep *et al.*, 2020; Rodríguez-Castro *et al.*, 2020). Sin embargo, la mayor

parte de estas evaluaciones se han realizado en condiciones *in vitro* de laboratorio. Por lo anterior, resulta necesario evaluar su efecto en condiciones de campo. Recientemente, se han evaluado moléculas homologas de lipopéptidos cíclicos (lipopeptina A y lipopeptina B) aislados de *Streptomyces* sp. Que mostraron una fuerte actividad inhibitora contra FOCR4T (Wang *et al.*, 2023). Es prioritario identificar productos que sean factibles incorporarlos en un manejo integrado de las enfermedades que causan marchitez por *Fusarium* en bananos, incluyendo el uso de prácticas de cultivo, control biológico, salud de suelos, entre otros.

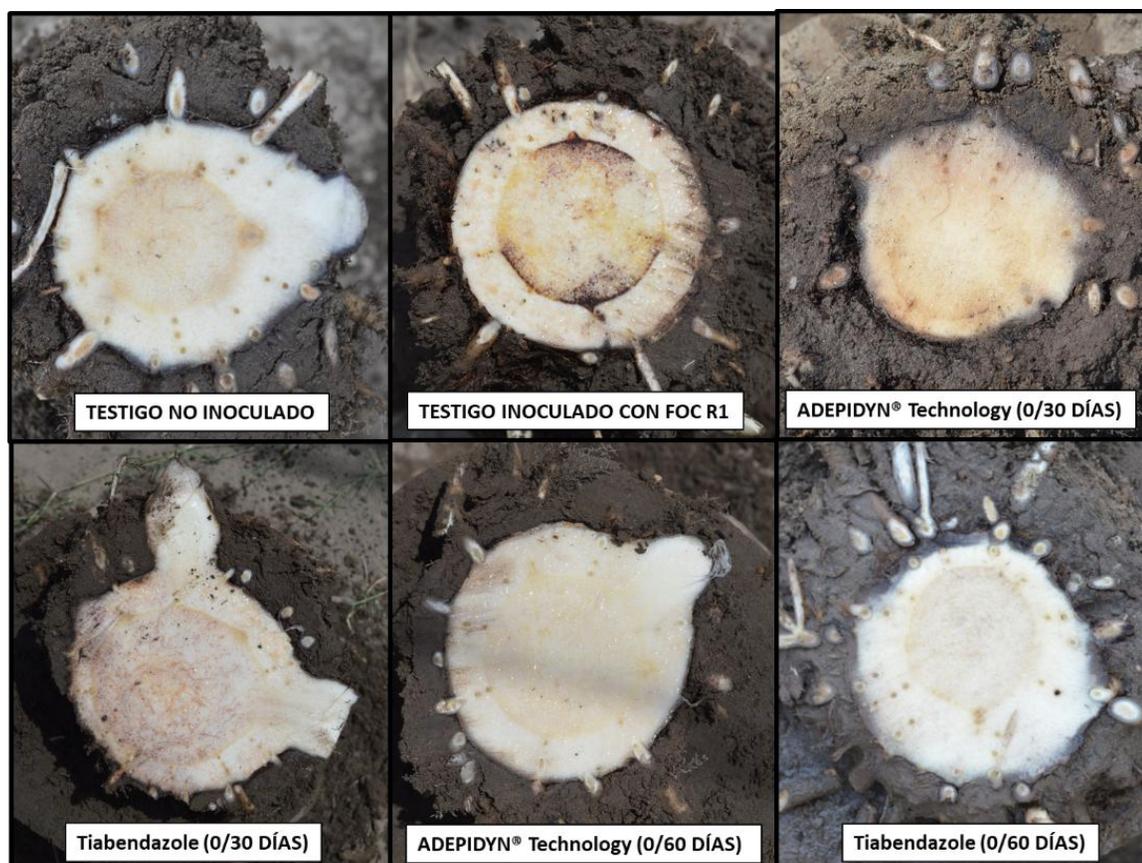


Figura 1. Severidad de FOCR1 en cormos de plantas de banano Manzano tratados con fungicidas.

CONCLUSIONES

Dos aplicaciones de los fungicidas ADEPIDYN® Technology y Tiabendazol, aplicados a los 0/30 y 0/60 días de establecidas las plantas redujeron los índices de infección de la marchitez por *Fusarium* causada por la Raza 1 de *Fusarium oxysporum*

f. sp. *cubense*. Los porcentajes de infección más bajos de marchitez por *Fusarium* en los cormos se obtuvo con el fungicida ADEPIDYN® Technology aplicado a los a los 0/30 y 0/60 días con un 3-10% y 2-4% de daño, respectivamente. No se detectó toxicidad con ninguno de los fungicidas evaluados.

REFERENCIAS

1. Arredondo-Vega, B.O. y Voltolina, D. 2007. Capítulo 2: Concentración, recuento celular y tasa de crecimiento. In: Métodos y Herramientas Analíticas en la Evaluación de la Biomasa Microalgal. Editorial: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, B.C.S., México, pp. 21-29.
2. Cannon, S., Kay, W., Kilaru, S., Schuster, M., Gurr, S. J., & Steinberg, G. (2022). Multi-site fungicides suppress banana Panama disease, caused by *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Cubense* Tropical Race 4. PLoS Pathogens, 18(10), e1010860. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010860>
3. Dita, Miguel; Teixeira, Luiz; Li, Chunyu; Zheng, Sijun; O'Neill, Wayne; Daniels, Jeff; Pérez-Vicente, Luis; Carreel, Françoise; Roussel, Véronique; Carlier, Jean; Abadie, Catherine; Carpentier, Sebastien Christian; Iyyakutty, Ravi; Kissel, Ewaut; van Wesemael, Jelle; Chase, Rachel; Tomekpe, Kodjo; Roux, Nicolas. 2021. Practical guidelines for early screening and field evaluation of banana against *Fusarium* wilt, *Pseudocercospora* leaf spots and drought. Bioversity International. Montpellier, France. 83 p
4. Ismaila, A. A., Ahmad, K., Siddique, Y., Wahab, M. A. A., Kutawa, A. B., Abdullahi, A., Zobir, S. A. M., Abdu, A., & Abdullah, S. N. A. (2022). *Fusarium* Wilt of Banana: Current Update and Sustainable Disease Control Using Classical and Essential Oils Approaches. Horticultural Plant Journal.
5. Lishma, N.P., and Cherian, A. K. (2021). Effect of various bio control agents and plant extracts on the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) causing *Fusarium* wilt disease in banana. The Pharma Innovation Journal, 10(12), 2454–2457.
6. Mohana-Pradeep, R. K., Kousalya, S., Mukundhan, P., Sheneka, R., Rohini, R., Vinitha, S., and Haritha S. (2020). Eco-friendly management of *Fusarium oxysporum* f.sp. *Cubense* causing *Fusarium* wilt on Banana under In vitro condition. 9, 3145–3148.
7. Moradi, M., Heinz-Wilhelm Dehne, Ulrike Steiner, y Erich-Christian Oerke. 2017. “Improved procedure for mass inoculum production of *Fusarium* species in a short period of time”. Applied Entomology and Phytopathology 84(No. 2): 21–31.
8. Nel, B., Steinberg C, Labuschagne N, and Viljoen, A. 2007. Evaluation of fungicides and sterilants for potential application in the management of *Fusarium* wilt of banana. Crop protection 26:697-705.
9. Orozco-Santos, M. 2013. Historia y situación actual del Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) en México. Revista Mexicana de Fitopatología, Vol. 31 (Suplemento). S35.
10. Rodríguez-Castro, A., Torres-Herrera, S., Calleros, A. D.-, Romero-García, A., & Silva-Flores, M. (2020). Extractos vegetales para el control de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. Abanico Agroforestal 2:1-13.
11. Wang, X., Du, Z., Chen, C., Guo, S., Mao, Q., Wu, W., Wu, R., Han, W., Xie, P., Zeng, Y., Shan, W., Wang, Z., & Yu, X. (2023). Antifungal effects and biocontrol potential of lipopeptide-producing *Streptomyces* against banana *Fusarium* wilt fungus *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Cubense*. Frontiers in Microbiology, 14. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2023.1177393>

Potencial de *Melaleuca alternifolia* para el manejo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en plátano Manzano (*Musa* sp. Grupo AAB)

José Alfredo Flores-Yáñez¹; Marco Tulio Vega-Gutiérrez^{1*}; Luciano Martínez-Bolaños²; Jesús Torres-García³; Juan Cristobal Fernández-Arroyo¹

¹STK bio-ag technologies. ²Universidad Autónoma Chapingo. ³Instituto Politécnico Nacional.

*Autor de

Correspondencia:

Marco Tulio Vega
Gutiérrez
mvega@stk-ag.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Flores-Yáñez JA, Vega-Gutiérrez MT, Martínez-Bolaños L, Torres-García J y Fernández-Arroyo JC.

2024. Potencial de *Melaleuca alternifolia* para el manejo de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en plátano Manzano (*Musa* sp. Grupo AAB).

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 46

<https://doi.org/10.62498/AR-TC.2446>

RESUMEN

En este estudio se evaluaron tres aplicaciones foliares de *Melaleuca alternifolia* (0.5, 1.0 y 1.5 L ha⁻¹) a intervalos de 14 días, realizadas con un aspersor motorizado y un volumen de aplicación de 400 L ha⁻¹. Los resultados mostraron que *Melaleuca alternifolia* a 1.0 y 1.5 L ha⁻¹ presentaron una menor la severidad de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* raza 1 (*Foc1*) en plátano manzano siendo la dosis de 1.5 L ha⁻¹ la que presentó el mayor control de la enfermedad (66.6%). La aplicación foliar de *M. alternifolia* mejora el contenido foliar de clorofila y nitrógeno que junto con el control de *Foc1*, sugiere un desencadenamiento de defensa sistémica.

Palabras clave: *Fusarium*, Manejo, defensa sistémica, Clorofila, Fitosanidad.

ABSTRACT

In this study, three foliar applications of *Melaleuca alternifolia* (0.5, 1.0 and 1.5 L ha⁻¹) were evaluated at 14-day intervals, carried out with a motorized sprinkler and an application volume of 400 L ha⁻¹. The results showed that *M. alternifolia* at 1.0 and 1.5 L ha⁻¹ presented a lower severity of *F. oxysporum* f. sp. *cubense* race 1 (*Foc1*) in apple banana, with the dose of 1.5 L ha⁻¹ presenting the greatest control of the disease (66.6%). Foliar application of *M. alternifolia* improves foliar chlorophyll and nitrogen content which, together with control of *Foc1*, suggests a systemic defense trigger.

Keywords: *Fusarium*, Management, Systemic Defense, Chlorophyll, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El banano es uno de los frutos más consumidos a nivel global, incrementando su producción todos los años a pesar de las grandes limitantes biológicas como el moko bacteriano (*Ralstonia solanacearum*) sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. cubense), siendo esta última considerada como una de las enfermedades vegetales con mayor importancia en la historia de la agricultura, debido a su letalidad y persistencia (Li *et al.*, 2015).

La primer gran epidemia en banano se generó por Foc raza 1 a finales de la década de los 50 cuando el mercado de banano global estaba dominado por el clon Gros Michel (Grupo AAA), esta epidemia ocasiono que se sustituyera el clon Gros Michel por el clon Cavendish, el cual es resistente a Foc raza 1 y actualmente representa el 40 % de la producción mundial; En 1967 en el sureste asiático se reportó una nueva raza de Foc denominada raza 4 tropical (FocR4T), la cual afecta a los clones Cavendish con una alta tasa de letalidad y actualmente se encuentra presente en 20 países de los 135 productores de Cavendish (Martinez-Solórzano *et al.*, 2020); es por lo anterior, que en México en donde cada año se cultivan más de 41,000 ha de banano Cavendish, el inminente ingreso de FocR4T representa uno de los mayores riesgos y retos a la industria bananera que representa ingresos anuales de más de 400 millones de dólares.

El uso de fungicidas químicos para el manejo de FocR4T no ha ofrecido eficacias claras, además de que se ha mostrado que este hongo es capaz de tolerar el efecto de muchos grupos de fungicidas como triazoles, carboxamidas y estrobirulinas (Cannon *et al.*, 2022), que son los más utilizados en la industria bananera, por tanto, es imperativo obtener alternativas de manejo al químico que puedan ofrecer soluciones efectivas y con menos riesgos de resistencia a mediano plazo, siendo una de estas alternativas el uso de extractos vegetales que pueden tener un efecto directo sobre los hongos a la par de activar resistencia sistémica en las plantas.

Timorex® Gold es una tecnología Israelí a base del aceite de *Melaleuca alternifolia* compuesto principalmente de terpenos, sesquiterpenos y alcoholes genera una ruptura de la pared celular de una amplia variedad de hongos fitopatógenos, incluso en el interior de las hojas (mesófilo) este efecto fungicida supresivo ha propiciado su amplio uso en banano para el manejo de *Mycosphaerella fijiensis* pues ha resultado en los productores en un manejo contundente de la sigatoka negra (Reuveni *et al.*, 2020) que además reduce el riesgo de resistencia de fungicidas del grupo de los triazoles, carboxamidas y estrobirulinas, además de que ayuda a retener el avance de la

enfermedad permitiéndoles mantener hojas por más tiempo, probablemente debido a un efecto priming reportado recientemente por Dalio *et al.* (2020).

Por todo lo anterior, se desarrolló el presente estudio en donde se evaluó el efecto de aspersiones de *M. alternifolia* sobre el control de Foc raza 1 en plátano manzano, con el objetivo de generar información que pueda ser de utilidad para implementar estrategias de manejo ante un posible ingreso de *FocR4T* a México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en una plantación comercial de plátano manzano Grupo ABB, ubicado en la comunidad de Plátano y Cacao en el municipio de Centro, Tabasco, México en las coordenadas: 17°58'49.1"N y 93°10'23.2"W.

Se evaluaron tratamientos a base de Timorex® Gold (*Melaleuca alternifolia*) a 0.5, 1.0 y 1.5 L/ha, además de Tecto 500 SC (Tiabendazol) a 1.0 L/ha y un testigo absoluto. Se realizaron 3 aspersiones foliares terrestres a intervalos de 14 días, empleando un aspersor motorizado marca Forza modelo 818025 de 25 L de capacidad y con un motor de 1 caballo de fuerza, se utilizó un gasto de agua de 400 L/ha. La aplicación de tratamientos inicio en plantas jóvenes con una altura promedio de 1.8 m. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 4 repeticiones.

Se evaluó la incidencia y severidad de Foc cada 14 días. La evaluación externa de la enfermedad se realizó con base a una escala (Figura 1) propuesta por Li *et al.* (2014), cuya evaluación se basa en cuatro clases: 0 = sin síntomas; 1 = amarillamiento inicial, principalmente en las hojas inferiores; 2 = coloración amarillenta de todas las hojas inferiores con cierta decoloración de las hojas más jóvenes; 3 = todas las hojas con amarillamiento intenso o la planta muere.



Figura 1. Escala para evaluación del avance de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

El índice de severidad se transformó a porcentaje de infección mediante la siguiente fórmula:

$$PI = 100 \frac{(0 n_0 + 1 n_1 + 2 n_2 + 3 n_3)}{3N} \text{-----1)}$$

Donde:

PI: Porcentaje de infección

0 a 3= Índice de severidad

n_0 a n_3 = Número de plantas con el valor correspondiente 0 a 3

N= total de plantas evaluadas.

Posteriormente, se calculó la eficacia biológica mediante la fórmula de abbot:

$$EB = \frac{(PI_{Ita} - PI_{Itn})}{PI_{Ita}} (100) \text{-----2)}$$

Dónde:

EB= Eficacia biológica

PI_{Ita}= Porcentaje de infección en el testigo absoluto

PI_{It}= Porcentaje de infección en el tratamiento n .

También se tomaron datos de la concentración de clorofila mediante un medidor de clorofila MC-100 Amstast, en 5 hojas de 5 plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento del estrato medio del follaje, utilizando la parte media de la hoja para la medición.

Al conjunto de datos de cada una de las variables se les determinó la normalidad de errores mediante la prueba de Shapiro-Wilk, además, se comprobó la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Bartlett, en caso de que su cumpliera la normalidad de errores y homogeneidad de varianzas, se realizó un análisis de varianza utilizando el modelo de DBCA y una prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey $\alpha = 0.05$, en el caso de que no se cumplieran los supuestos estadísticos se realizó un análisis no paramétrico mediante el test de Mann-Whitney-Wilcoxon (WMW), con el software estadístico SAS®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se inició con una severidad de *Foc* promedio de 7.02 % y avanzó a un ritmo de 25.6 % de incrementó de severidad cada 14 días, lo cual se podría traducir en 1.8 % de incremento de severidad por día; este comportamiento fue afectado

estadísticamente por la aplicación de *M. alternifolia*, siendo la dosis de 1.5 L/ha foliar la que obtuvo la mayor reducción del incremento de la severidad, pues en este tratamiento, *Foc* avanzó a una tasa de 0.5 % de severidad por día (Figura 2).

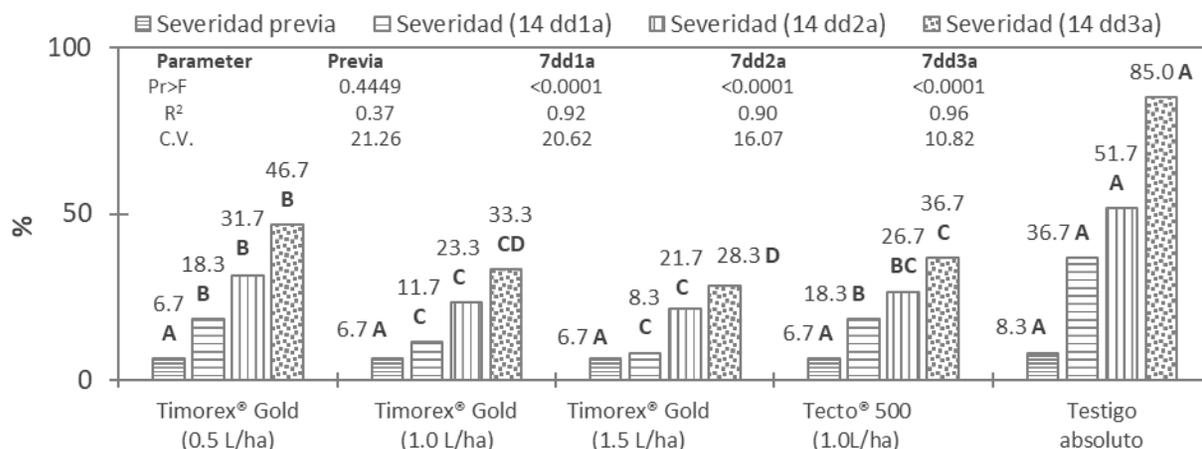


Figura 2. Comportamiento de la severidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense en plátano manzano grupo ABB en respuesta a aspersiones de *M. alternifolia*. **dd1a:** Días después de la 1era aplicación. **C.V.:** Coeficiente de variación.

Durante 42 días las eficacias obtenidas por *M. alternifolia* en las diferentes dosis evaluadas fue de 38.7 a 77.3 %, comparado con el uso de Tiabendazol (Tecto® 500) cuyas eficacias fueron entre 48.4 y 56.9 % (Figura 3).

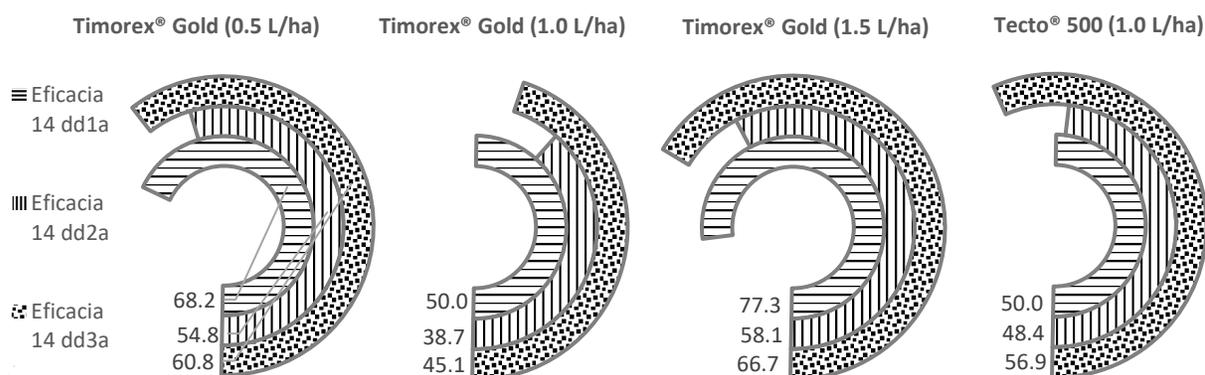


Figura 3. Eficacias obtenidas por el producto a base de *Melaleuca alternifolia* sobre el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense en plátano manzano grupo ABB. **dd1a:** Días después de la 1era aplicación.

Durante el desarrollo del presente estudio se observaron diferencias en el verdor de las plantas de los distintos tratamientos, por lo cual, 30 días después de la 3era aplicación se realizó un monitoreo sobre la concentración de clorofila y nitrógeno en

las hojas de banano y se encontró que *M. alternifolia* generó una mayor concentración de clorofila y nitrógeno en las hojas (Figura 4), aunque esto puede estar correlacionado con el control de Foc raza 1, es importante recalcar que las aplicaciones fueron foliares, por lo cual el efecto fungicida directo sobre el hongo en el suelo fue marginal, esto sugiere que *M. alternifolia* puede estar activando mecanismos de defensa sistémicos que protegen a las plantas de la infección y del avance de la enfermedad en plantas infectadas.

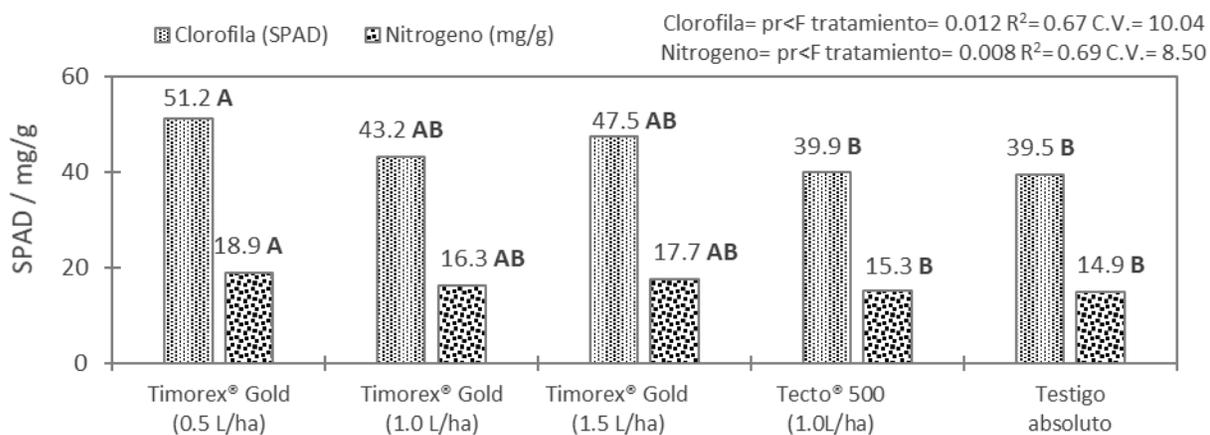


Figura 4. Comportamiento de la concentración foliar de clorofila y nitrógeno 30 días después del tratamiento en plátano manzano. **C.V.:** Coeficiente de variación.

La información con relación al manejo de *Foc* es de suma importancia, pues, aunque en México está limitado a cultivares poco comerciales como el plátano manzano (1,596 ha) y el plátano macho (19,834 ha), el riesgo de la llegada de *FocR4T* plantea un gran reto para los productores y técnicos del cultivo principalmente a los productores de banano Cavendish (41,036 ha).

A nivel global, la evidencia sobre el uso de fungicidas químicos para el manejo de *FocR4T* ha sido preocupante pues las eficacias encontradas son bajas, probablemente debido a un tema de resistencia debido a la alta presión de uso de fungicidas químicos que existe en la industria bananera, no obstante existen reportes sobre medidas alternativas prometedoras, por ejemplo, Paramalingam *et al.* (2023), reportó que el aceite de *Melaleuca alternifolia* a una concentración de 2.6 mL/L, reduce 69 % el crecimiento de *FocR4T* en condiciones *in vitro* mientras que una dosis de 0.9 mL/L afecta más del 50 % de la germinación de esporas de *FocR4T*.

Durante el estudio, se observó que 3 aplicaciones de *M. alternifolia* a 0.5 L/ha cada 14 días, mejoraron la concentración foliar de clorofila hasta 30 días después de la 3era aplicación, al respecto, Wang *et al.* (2012) realizó aplicaciones de fermentados de

Streptomyces sp. en plantas de banano inoculadas con *FocR4T* y observó que redujeron la severidad de la enfermedad y además propiciaron un mayor contenido de clorofila y control hasta 40 días después de la inoculación, sugiriendo un mecanismo de defensa; por otra parte, Kretschmer *et al.* (2019) reportaron que los cloroplastos desempeñan un papel fundamental en la defensa de las plantas a través de la síntesis de metabolitos secundarios como el ácido jasmónico y salicílico así como especies reactivas de oxígeno (que solo son producidas durante el día), además de que el ácido salicílico a bajas concentraciones incrementa la concentración de clorofila. Dalio *et al.* (2020), reportó que la aspersión foliar del aceite de *Melaleuca alternifolia* generó una protección sistémica que, en plantas de banano enfermas por *Foc1* protegió a las hijas a través de la activación de resistencia sistémica adquirida (mediada por ácido salicílico) y resistencia sistémica inducida (mediada por ácido jasmónico y etileno).

CONCLUSIONES

Las aplicaciones foliares del producto a base de *Melaleuca alternifolia* en dosis de 0.5, 1.0 y 1.5 L/ha pueden lograr eficacias de control de al menos 50 % de *Foc1*, siendo las dosis de 0.5 y 1.5 L/ha las más eficaces.

Las aspersiones foliares del producto a base de *M. alternifolia* mejoran la concentración foliar de clorofila y nitrógeno de plantas de plátano manzano infectadas con *Foc1*.

El efecto de control de *Foc1* por parte del producto a base de *M. alternifolia* parece ser debido a la activación de mecanismos de defensa.

REFERENCIAS

1. Cannon, S., Kay, W., Kilaru, S., Schuster, M., Gurr, S. J., & Steinberg, G. 2022. Multi-site fungicides suppress banana Panama disease, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4. PLoS Pathogens, 18(10): e1010860.
2. Dalio, R. J., Maximo, H. J., Roma-Almeida, R., Barretta, J. N., José, E. M., Vitti, A. J., & Pascholati, S. F. 2020. Tea tree oil induces systemic resistance against Fusarium wilt in banana and Xanthomonas infection in tomato plants. Plants, 9(9): 1137.
3. Kretschmer, M., Damoo, D., Djamei, A., & Kronstad, J. 2019. Chloroplasts and plant immunity: where are the fungal effectors? Pathogens, 9(1): 19.
4. Li, W. M., Dita, M., Wu, W., Hu, G. B., Xie, J. H., & Ge, X. J. 2015. Resistance sources to *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4 in banana wild relatives. Plant Pathology, 64(5): 1061-1067.

5. Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., & Manzanilla, E. E. 2020. Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. *Agronomía Mesoamericana*. pp. 259-276.
6. Paramalingam, P., Baharum, N. A., Abdullah, J. O., Hong, J. K., & Saidi, N. B. 2023. Antifungal Potential of *Melaleuca alternifolia* against Fungal Pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4. *Molecules*, 28(11): 4456.
7. Reuveni, M., Sanches, E., & Barbier, M. 2020. Curative and suppressive activities of essential tea tree oil against fungal plant pathogens. *Agronomy*, 10(4): 609.
8. Wang, J., Cai, B., Li, K., Zhao, Y., Li, C., Liu, S., & Wang, W. 2022. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4 in banana plantlets using newly isolated *Streptomyces* sp. WHL7 from marine soft coral. *Plant Disease*, 106(1): 254-259.

Tea tree oil induces activation of defense mechanisms against *Fusarium* wilt infection in cavendish banana – Screenhouse and field set-up

Merahflor L. Cavite¹; Dennice G. Catambacan¹; Benny M. Corcolon¹; Euberto S. Catayas¹; Alexis P. Cantil²

¹Plant Pathology, Postharvest and Tissue Culture R&D Department, Research, Information and Compliance Division (RICD);

²Agriculture Operations. Tagum Agricultural Development Company, Inc. (TADECO), Brgy. A. O. Floirendo, Panabo City, Davao del Norte, Philippines, 8105.

***Autor de**

Correspondencia:

Dennice G. Catambacan
dgcatabacan@anflocor.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Cavite ML, Catambacan DG, Corcolon BM, Catayas ES and Cantil AP. 2024.

Tea tree oil induces activation of defense mechanisms against *Fusarium* wilt infection in cavendish banana – Screenhouse and field set-up. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 47

<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2447>

ABSTRACT

Evaluation of tea tree oil (TTO) was conducted to determine its efficacy on the enzymatic activity in Cavendish banana when challenged by *Foc*TR4. At screenhouse, there was a significant increased accumulation of pathogenesis-related proteins in plants with sustained application of TTO at 6ml/L. This resulted to induction of resistance manifested by the lowest degree of rhizome discoloration, pseudostem splitting and stunting at 10 weeks after TR4 inoculation. Similar observations were noted in the field wherein there was an increase of enzymatic activity in TTO-treated plants compared to untreated samples. This increase was demonstrated by a significant lower incidence of the disease both in GN and FW-tolerant selection.

Palabras clave: tea tree oil, pathogenesis-related proteins, *Fusarium* Wilt, Cavendish banana, Fitosanidad.

RESUMEN

Se llevó a cabo una evaluación del aceite del árbol del té (TTO) para determinar su eficacia sobre la actividad enzimática en el plátano Cavendish cuando fue desafiado por *Foc*TR4. En el invernadero, hubo un aumento significativo de la acumulación de proteínas relacionadas con la patogénesis en las plantas con la aplicación sostenida de TTO a 6 mL/L. Esto dio lugar a la inducción de la resistencia manifestada por el menor grado de decoloración del rizoma, división del pseudotallo y retraso del crecimiento a las 10 semanas después de la inoculación con TR4. Observaciones similares se observaron en el campo, donde hubo un aumento de la actividad enzimática en las plantas tratadas con TTO en comparación con las muestras no tratadas. Este aumento se demostró por una incidencia significativamente menor de la enfermedad tanto en la selección GN como en la tolerante a FW.

Keywords: aceite del árbol del té, proteínas relacionadas con la patogénesis, marchitez por *Fusarium*, plátano Cavendish, fitosanidad.



INTRODUCTION

Induced resistance is a state of enhanced defensive capacity where plant defenses are preconditioned by prior infection or treatment that results in resistance against subsequent challenge by a pathogen or parasite (Choudhary *et al.*, 2007). The resistance expressed by the plant is associated with increased activity of pathogenesis-related proteins (Hammerschmidt and Smith-Becker, 1999).

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (*Foc*TR4), causal agent of *Fusarium* Wilt disease, is one of the most destructive strains attacking Cavendish and other cultivars (Cheng *et al.*, 2019). On the other hand, tea tree oil (TTO) from plant *Melaleuca alternifolia* which contains mostly terpenes and their alcohols are known for their roles in plant defense against biotic and abiotic stresses (Dalio *et al.*, 2020).

This study was undertaken (1) to determine the effect of TTO on the enzymatic activity in Cavendish banana and relate to disease severity when challenged by *Foc*TR4 at screenhouse set-up; (2) to determine the effectiveness of TTO when applied to Cavendish banana for the control of *Fusarium* wilt in the field.

MATERIALS AND METHODS

The screenhouse test was carried out from August 2022 to January 2023. Six-week-old FW-susceptible cultivar Gran Naine plantlets were arranged using Randomized Complete Block Design with 3 replications per treatment at 21 samples per replicate (Table 1). Test plants in Treatments 1 and 2 were applied with water only while Treatments 3 to 8 were drenched with respective rates of TTO at 30 days before inoculation (DBI) followed by foliar spraying at 15 DBI and 7 DBI, respectively. Treatments 7 and 8 were applied through foliar spraying at 7 days after inoculation (DAI).

Fifty mL of *Foc*TR4 solution at 1×10^6 spores/mL was drenched to sterilized potted soil of test plant. Regular watering was employed. Assessment for any phytotoxicity symptoms was done every week before inoculation. Six plants were processed for destructive sampling at 15 DBI and 30 DAI for enzymatic evaluation. Guaiacol peroxidase was determined in a mixture consisting of the reaction buffer (10 mM sodium phosphate buffer at pH 7.5, 2.3 mM guaiacol and 2.9 mM H₂O₂) and leaf extract, monitored through spectrophotometer at 470 nm. Moreover, β -1,3 glucanase

assay was done by incubating the leaf extract with laminarin dissolved in sodium phosphate buffer and adding *p*-hydroxybenzoic acid hydrazide (PAHBAH).

Table 1. Different rates and timing of application of Tea tree oil at screenhouse set-up.

Trt code	Treatment application (44 mL solution per plant per application)	TTO application at x days before inoculation (DBI)			TR4 Inoculation at day 0	TTO application at 7 days after inoculation (DAI)	
		30	15	7			
T1	Healthy Control (– <i>Foc</i> TR4/ – tea tree oil)	/	/	/	No		
T2	Untreated Control (+ <i>Foc</i> TR4/ – tea tree oil)	/	/	/	Yes		
T3	Tea tree oil at 3 ml/L (uninoculated)	/	/	/	No		
T4	Tea tree oil at 6 ml/L (uninoculated)	/	/	/	No		
T5	Tea tree oil at 3 ml/L (before TR4 inoculation)	/	/	/	Yes		
T6	Tea tree oil at 6 ml/L (before TR4 inoculation)	/	/	/	Yes		
T7	Tea tree oil at 3 ml/L (before and after TR4 inoculation)	/	/	/	Yes		/
T8	Tea tree oil at 6 ml/L (before and after TR4 inoculation)	/	/	/	Yes		/

Glucose concentration was determined using a spectrophotometer at 410 nm. On the other hand, disease severity was evaluated at 10 weeks after inoculation (WAI) with 15 samples per replication. The degree of rhizome discoloration was assessed using modified severity rating below (Table 2). All gathered data were analyzed using two-way Analysis of Variance (ANOVA) following two-factorial Randomized Complete Block Design (RCBD), and the difference among treatments were compared using Tukey’s Honest Significant Difference (HSD). The software Statistica Version 10 was used.

Table 2. Modified severity rating scale for rhizome discoloration during disease severity assessment.

Rating Scale	Rhizome discoloration (Carlier <i>et al.</i> , 2003)
0	Corm completely clean
1	Isolated points of discoloration in vascular tissue
2	Discoloration up to 1/3 of vascular tissue
3	Discoloration between 1/3 and 2/3 of the vascular tissue
4	Discoloration greater than 2/3 of vascular tissue
5	Total discoloration of vascular tissue

Field evaluation was done in a commercial area previously infected with *Fusarium* wilt. Standard procedure of the plantation on land preparation, planting and fertilization was followed. Foliar application of TTO at 6 mL/L was performed to Gran Naine and FW-tolerant selection at 1, 2, and 3 months after planting (MAP) using a calibrated battery-operated knapsack sprayer. Enzymatic activities of guaiacol peroxidase, β -1,3 glucanase and phenol content on the plant was evaluated at 2 MAP and 3 MAP at fifteen randomly sampled plants per treatment. Incubation period and disease incidence were monitored weekly.

RESULTS AND DISCUSSION

At screenhouse set-up

Enzymatic activities of PR proteins. Samples applied with TTO at 6 mL/L (before and after TR4 inoculation) consistently obtained the highest activity of guaiacol peroxidase among *Foc* TR4-inoculated treatments at 15 DBI (after 2 rounds of TTO application) and 30 DAI. In the absence of the pathogen, highest activity was noted in samples applied with TTO at 6 mL/L at 15 DBI while no significant difference was noted between untreated and treated samples at 30 DAI (Figure 1A).

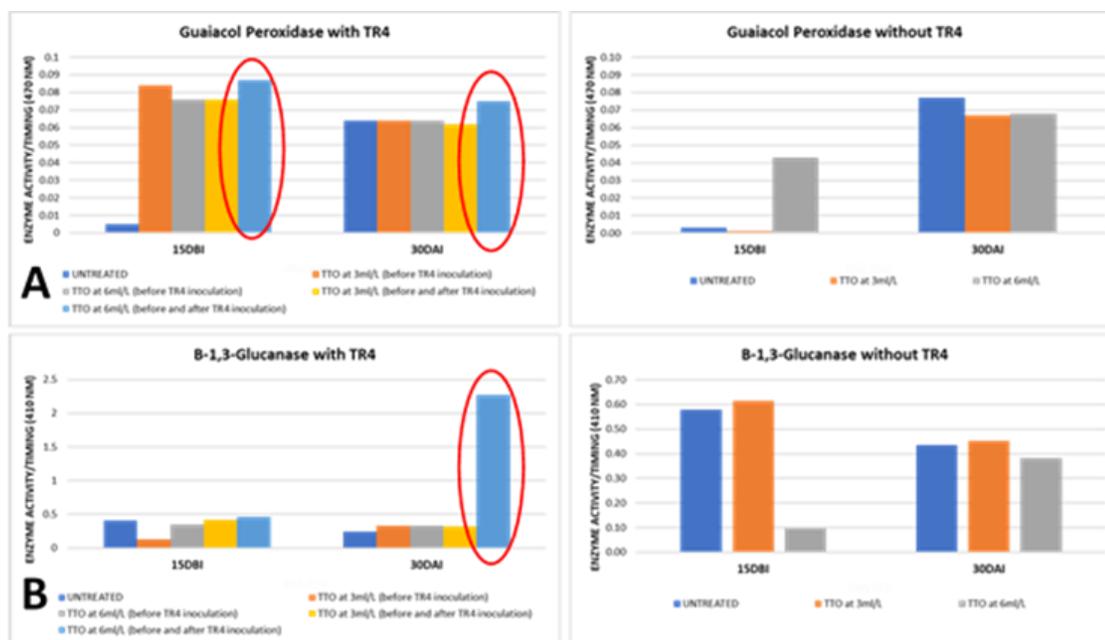


Figure 1. Enzymatic activity of guaiacol peroxidase (A), and β -1,3-glucanase (B) of untreated and TTO - treated plants with (left) and without (right) TR4 at 15 DBI (days before inoculation) and 30 DAI (days after inoculation).

Guaiacol peroxidase are widely accepted as “stress” enzyme wherein stressful conditions have been shown to induce its activity (Erofeeva, 2015). This explains the observed activity of the enzyme to untreated samples when exposed to TR4. However, significant induction of its activity to treated plants was noted when the product was applied prior to infection and additional application during post-infection.

With β -1,3 glucanase, comparable results were noted between untreated and treated samples at 15 DBI and 30 DAI except for plants applied with TTO at 6ml/L (before and after TR4 inoculation) where significant increase of activity of the enzyme was observed at 30 DAI in the presence of TR4. Without the pathogen, no significant effect was noted on the application of TTO as comparable results with untreated samples was monitored (Figure 1B). Accordingly, plant β -1,3-glucanases accumulate in the event of a pathogen attack, and some of them have been directly involved in the hydrolysis of pathogen walls, as β -1,3-glucans are found in bacteria, metazoa, viruses, and particularly fungi. In fungi, β -1,3-glucans constitute the most abundant wall structural component existing in the form of linear or branched glucans containing mostly β -1,3 and β -1,6 linkages (Ruiz-Herrera and Ortiz-Castellanos, 2019).

Disease Severity. TR4-inoculated treatments had 100% incidence of vascular internal discoloration expressed by *Fusarium* wilt. This shows the susceptibility of Gran Naine to the disease. Nevertheless, the degree of rhizome discoloration was numerically lowest in TTO at 6ml/L (before and after TR4 inoculation) with 22.66% at 10 weeks after *Foc* TR4 inoculation (Table 3 and Figure 2).

Table 3. Disease incidence (%) and rhizome discoloration (%) of Cavendish banana applied with different rates and timing of application of TTO at 10 weeks after *Foc* TR4 inoculation.

TREATMENT	FW INCIDENCE (%)	RHIZOME DISCOLORATION (%)
T1 - Healthy Control (– <i>Foc</i> TR4/ – TTO)	0.00	0.00 ^b
T2 - Untreated Control (+ <i>Foc</i> TR4/ – TTO)	100.00	29.78 ^a
T3 - TTO at 3ml/L (uninoculated)	0.00	0.00 ^b
T4 - TTO at 6ml/L (uninoculated)	0.00	0.00 ^b
T5 - TTO at 3ml/L (before TR4 inoculation)	100.00	28.39 ^a
T6 - TTO at 6ml/L (before TR4 inoculation)	100.00	30.22 ^a
T7 - TTO at 3ml/L (before and after TR4 inoculation)	100.00	27.55 ^a
T8 - TTO at 6ml/L (before and after TR4 inoculation)	100.00	22.66 ^a
<i>P</i> - value	-	0.00
CV	-	25.04



Figure 2. Effect of TTO on the degree of rhizome discoloration caused by *Foc* TR4 on Gran Naine at 10 WAI. A) Healthy Control ($- Foc$ TR4/ $-$ TTO), B) Untreated Control ($+ Foc$ TR4/ $-$ TTO), C) TTO at 3mL/L (uninoculated), D) TTO at 6mL/L (uninoculated), E) TTO at 3mL/L (before TR4 inoculation), F) TTO at 6mL/L (before TR4 inoculation), G) TTO at 3mL/L (before and after TR4 inoculation), and H) TTO at 6mL/L (before and after TR4 inoculation). Pictures photographed by the authors, 2023.

In terms of external symptoms, samples treated with TTO at 6ml/L (before and after TR4 inoculation) showed significantly lowest mean of 8.88% and 4.44% for pseudostem splitting and stunting, respectively (Table 4).

Table 4. Percentage of pseudostem splitting and stunting or choking on Cavendish banana applied with different rates and timing of application of TTO at 10 weeks after *Foc* TR4 inoculation.

Treatment	Pseudostem splitting (%)	Stunting or choking (%)
T1 - Healthy Control ($- Foc$ TR4/ $-$ TTO)	0.00 ^c	2.22 ^c
T2 - Untreated Control ($+ Foc$ TR4/ $-$ TTO)	22.22 ^{ab}	37.78 ^a
T3 - TTO at 3ml/L (uninoculated)	0.00 ^c	0.00 ^c
T4 - TTO at 6ml/L (uninoculated)	0.00 ^c	0.00 ^c
T5 - TTO at 3ml/L (before TR4 inoculation)	26.67 ^a	31.11 ^{ab}
T6 - TTO at 6ml/L (before TR4 inoculation)	20.11 ^{ab}	24.17 ^{ab}
T7 - TTO at 3ml/L (before and after TR4 inoculation)	11.11 ^{bc}	13.33 ^{bc}
T8 - TTO at 6ml/L (before and after TR4 inoculation)	8.88 ^{bc}	4.44 ^c
<i>P</i> - value	0.00	0.00
CV	43.48	38.99

At Field Set-up

Enzymatic activities of PR proteins. Results showed that enzymatic activities specifically for β -1,3 glucanase and phenols in TTO-treated plants were higher compared to untreated plants at 2 MAP and 3 MAP. Further, no significant difference was noted in guaiacol peroxidase between untreated and TTO-treated plants. In general, there was an increase of enzymatic activities of PR proteins at 3 MAP (Figure 3).

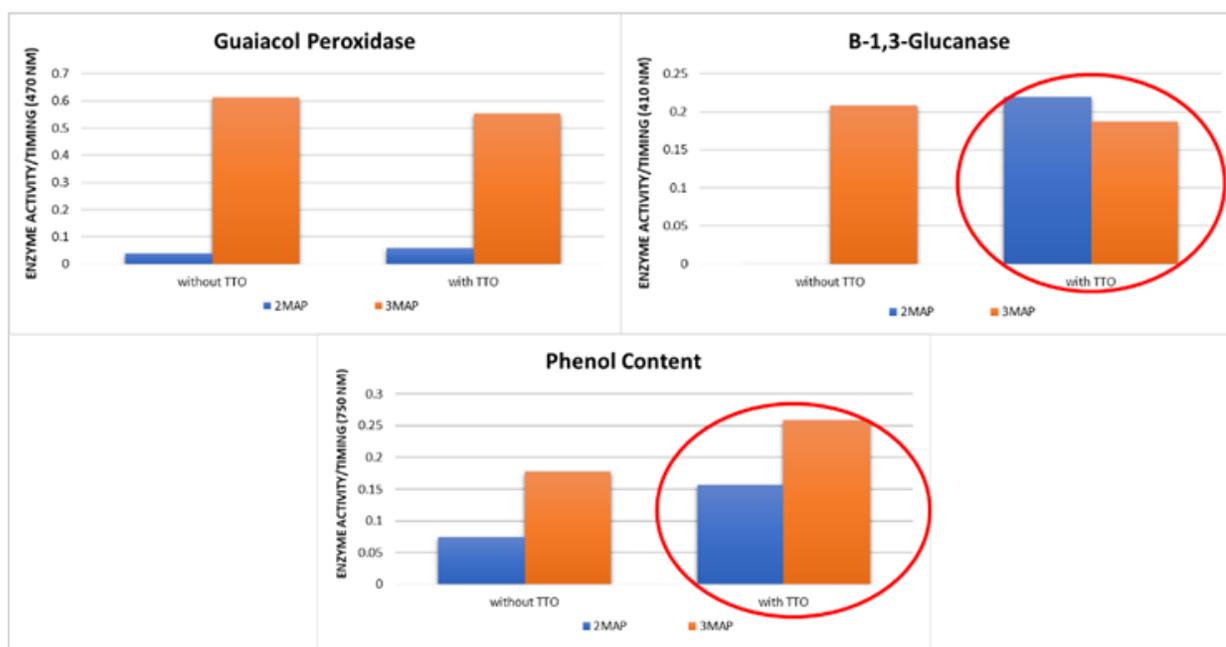


Figure 3. Enzymatic activity of guaiacol peroxidase (A), β -1,3-glucanase (B), and phenols (C) of untreated and TTO -treated plants at 2 months after planting (MAP) and 3 MAP.

Disease Incidence and Incubation. From July 2022 to September 2023, susceptibility of Gran Naine to *Fusarium* Wilt was evident with higher number of cases than FW-tolerant selection. Comparing between TTO-applied and untreated, lower FW cases was noted in TTO-treated plants with 1.93% in Gran Naine and 0.12% in FW-tolerant selection. In terms of incubation period, earliest manifestation of the disease was earlier in Gran Naine at 13 weeks after planting while longer incubation was noted in FW-tolerant selection at 20 weeks (Table 5). Further, FW incidence peaked at five months after planting or two months after the last TTO application particularly for susceptible cultivar as shown in Figure 4.

Table 5. Disease incidence (%) and incubation of *Fusarium* wilt in TTO-applied Gran Naine and FW-tolerant selection in the field (July 2022 to September 2023).

Treatment	No. of FW cases (Disease Incidence, %)		Earliest Incubation Period (Week)	
	Gran Naine	FW-tolerant selection	Gran Naine	FW- tolerant selection
Without TTO (untreated)	33/828 (3.98%)	7/810 (0.86%)	13	14
With TTO at 6 mL/L (1, 2, 3 months after planting)	16/828 (1.93%)	1/810 (0.12%)	13	20

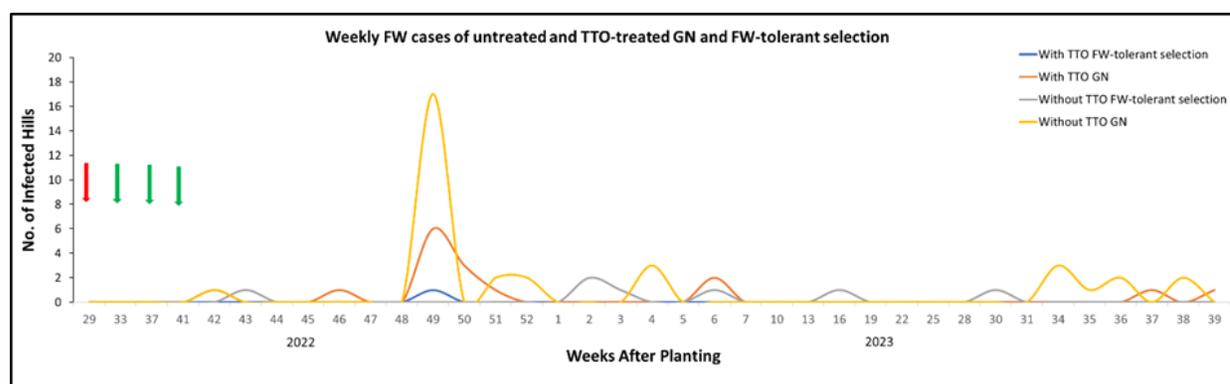


Figure 4. Weekly monitoring on Fusarium Wilt incidence from planting (red arrow) and TTO application at 1, 2, and 3 months after planting (green arrows) of untreated and TTO-treated Gran Naine and FW-tolerant selection.

Cost-Benefit Analysis. Based on % FW infection, equivalent number of FW cases per hectare, number of boxes lost due to FW as well as the corresponding value of boxes were computed. With TTO application, about 4,116 US \$ and 1,442 US \$ per hectare will be saved for Gran Naine and FW-tolerant selection, respectively. These savings are far higher when compared to the cost of TTO product and labor at 249 US \$ per hectare only (Table 6 and 7).

Table 6. Cost-benefit analysis of TTO application against FW incidence in Gran Naine cultivar.

Treatment	Gran Naine				
	FW Infection (%)	Equivalent No. of FW cases/ha	No. of boxes lost due to FW infection/ha	Value of boxes lost due to FW (US \$)	Cost of TTO application/ha + labor (US \$)
Without TTO	3.98	78	1147	8,029.00	249
With TTO	1.93	38	559	3,913.00	
<i>Difference</i>	<i>2.05</i>	<i>40</i>	<i>588</i>	<i>4,116.00</i>	

Table 7. Cost-benefit analysis of TTO application against FW incidence in FW-tolerant selection.

Treatment	FW-tolerant selection				
	FW Infection (%)	Equivalent No. of FW cases/ha	No. of boxes lost due to FW infection/ha	Value of boxes lost due to FW (US \$)	Cost of TTO application/ha + labor (US \$)
Without TTO	0.86	17	250	1,750.00	249
With TTO	0.12	3	44	308.00	
<i>Difference</i>	<i>0.73</i>	<i>14</i>	<i>206</i>	<i>1,442.00</i>	

CONCLUSIONES

At screenhouse set-up, there was a significant increased accumulation of pathogenesis-related proteins (guaiacol peroxidase and β -1,3 glucanase) specifically in plants with sustained application of TTO at 6mL/L. The increased accumulation of PR proteins resulted to induction of systemic resistance which was manifested primarily by the lowest degree of rhizome discoloration among treatments at 10 weeks after TR4 inoculation. Moreover, TTO at 6ml/L (before and after TR4 inoculation) obtained significantly lowest incidence in terms of external symptoms of the disease (pseudostem splitting and choking or stunting).

In the field, similar observations were noted where there was an increase of enzymatic activity of β -1,3 glucanase and phenols in TTO-treated plants compared to untreated samples at 2 MAP and 3 MAP. This increase was demonstrated by a significant lower incidence of the disease both in GN and FW-tolerant selection.

With this study, tea tree oil increases the activity of pathogenesis-related proteins and induces systemic resistance of Cavendish banana in response to *Foc*TR4 infection. Application of tea tree oil to newly-planted Cavendish banana could be a best strategy in managing *Fusarium* wilt in the field.

REFERENCIAS

1. Carlier, J, De Waele, D, & Escalant, JV. 2003. Global evaluation of *Musa* germplasm for resistance to Fusarium wilt, *Mycosphaerella* leaf spot diseases and nematodes: In: Vezina, A. and Picq, C. (Eds). INIBAP Technical Guidelines 7. The International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France, Arceaux 49 Press, p. 12.
2. Cheng CZ, Liu Fan, Sun XueLi, Tian Na, Mensah, R. A., Li Dan, Lai ZhongXiong. 2019. Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (*Foc* TR4) responsive miRNAs in banana root. *Scientific Reports*, 9(1), 13682. doi: 10.1038/s41598-019-50130-2
3. Choudhary, DK, Prakash, A, Johri, BN. 2007. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. *Indian J Microbiol* 47, 289–297. <https://doi.org/10.1007/s12088-007-0054-2>.
4. Dalio RJD, Maximo HJ, Roma-Almeida R, Barretta, JN, Jose, EM, Vitti, AJ, Blachinsky, D, Reuveni, M, and Pascholati, SF. 2020. Tea Tree Oil Induces Systemic Resistance against Fusarium wilt in Banana and Xanthomonas Infection in Tomato Plants. *Plants* (9)9.
5. Erofeeva EA. 2015. Dependence of Guaiacol Peroxidase Activity and Lipid Peroxidation Rate in Drooping Birch (*Betula pendula* Roth) and Tillet (*Tilia cordata* Mill) Leaf on Motor Traffic Pollution Intensity. Dose Response. Jun 10;13(2):1559325815588510. doi: 10.1177/1559325815588510. PMID: 26676174; PMCID: PMC4674175.
6. Hammerschmidt, R, Smith-Becker, JA. 1999. The role of salicylic acid in disease resistance. *Induced Plant Defenses against Pathogens and Herbivores: Biochemistry, Ecology, and Agriculture* (eds. A.A. Agrawal, S. Tuzun & E. Bent), pp. 37-53. The American Phytopathological Society Press, St. Paul
7. Ruiz-Herrera J., Ortiz-Castellanos L. 2019. Cell Wall Glucans of Fungi. A Review. *Cell Surf.* 5:100022. doi: 10.1016/j.tcs.2019.100022.

Eficacia de bioplaguicidas contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* R4T en banano bajo condiciones semi-controladas

Luisa Fernanda Izquierdo-García^{1*}; Carlos Andrés Moreno-Velandia¹; Rommel Igor Pacheco²; Juan Camilo Gómez²; Andrea del Pilar Villarreal¹; Magda Rocío Gómez-Marroquín¹; Sandra Lorena Carmona¹; Diana Marcela Burbano-David¹; Ruth Jesenia Quiroga-Mateus¹; Alfonso Rafael Orozco²; Martha Liliana Montes²; Gustavo Adolfo Rodríguez-Yzquierdo³; Mónica Betancourt-Vásquez¹

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, Centro de Investigación Tibaitatá. Km 14 Vía Bogotá a Mosquera, Mosquera, Cundinamarca, Colombia. ²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, Centro de Investigación Caribia. Zona bananera, Magdalena, Colombia. ³Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, Dirección de vinculación, Sede Central. Km 14 Vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

***Autor de**

Correspondencia:

Luisa Fernanda Izquierdo-García
lfizquierdo@agrosavia.co

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Izquierdo-García LF, Moreno-Velandia CA, Igor PR, Camilo GJ, del Pilar VA, Gómez-Marroquín MR, Lorena CS, Burbano-David DM, Quiroga-Mateus RJ, Rafael OA, Liliana MM, Rodríguez-Yzquierdo GA y Betancourt-Vásquez M. 2024.

Eficacia de bioplaguicidas contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* R4T en banano bajo condiciones semi-controladas. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 48 <https://doi.org/10.62498/ARTC> .2448

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto de nueve bioproductos comerciales a base de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. sobre el desarrollo del marchitamiento del banano (*F. oxysporum* f. sp. *cubense* raza tropical 4) en condiciones de invernadero de bioseguridad. Los tratamientos a base de bacterias T5 (*B. subtilis*) y T7 (*B. amyloliquefaciens*, *Agrobacterium radiobacter* K84 y *B. pumilus*) y el tratamiento T9 (consorcio de *Trichoderma* spp.) redujeron el avance de la incidencia de la enfermedad, con eficacias de 63%, 98% y 92%, respectivamente. Los tratamientos T7 y T9 redujeron el índice de severidad en 96% y 89%, respectivamente e impidieron el ingreso del patógeno en el tejido vegetal. Nuestros resultados indican que el uso de controladores biológicos representa una alternativa viable para la prevención y manejo de *Foc* R4T desde la fase de vivero.

Palabras clave: biocontrol, bioinsumos, biofungicidas, marchitez, patógeno cuarentenario, Fitosanidad.

ABSTRACT

In this research, the effect of nine commercial bioproducts based on *Trichoderma* spp. and *Bacillus* spp. on Fusarium-wilt of banana development (*F. oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4) under biosafety greenhouse conditions. Treatments T5 (*B. subtilis*), T7 (*B. amyloliquefaciens*, *Agrobacterium radiobacter* K84 and *B. pumilus*) and T9 (*Trichoderma* spp. consortium) reduced the incidence progress of the disease by 63%, 98% and 92%, respectively. Treatments T7 and T9 reduced the severity index by 96% and 89%, respectively, and prevented the colonization of inner tissue by the pathogen. The results suggest that the use of biological control agents represents a promissory alternative for the management of *Foc* TR4.

Keywords: biocontrol, biofungicides, Fusarium wilt, quarantine pathogens, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

La marchitez vascular del banano causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) es la enfermedad más limitante de este cultivo (Ploetz et al., 2015). En el año 2019, la ONPF colombiana - El Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, declaró la emergencia fitosanitaria por la detección de la raza 4 tropical (R4T) de *Foc* en plantaciones de banano en el departamento de La Guajira (Garcia-Bastidas et al., 2019). En América Latina y el caribe este hongo es catalogado como plaga cuarentenaria (FAO, 2018) por su fácil dispersión, su largo periodo de permanencia en el suelo, los efectos negativos en el cultivo y porque no se cuenta con variedades resistentes como lo era el cultivar de banano Cavendish para *Foc* Raza 1.

Las estrategias convencionales de manejo suelen ser poco efectivas y ante la ausencia de materiales resistentes, el control biológico con microorganismos antagonistas representa una estrategia promisoría para el manejo de *Foc* R4T. Varias publicaciones científicas han mostrado resultados positivos para el manejo de la enfermedad con cepas de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. (Akila et al., 2011; Li et al., 2022; Wong et al., 2019). Sin embargo, no existen biofungicidas registrados contra *Foc* R4T en países afectados como Colombia y Perú (ICA, 2022).

MATERIALES Y MÉTODOS

Plantas de banano Cavendish cv. Williams se trataron con bioplaguicidas disponibles en el mercado local, al finalizar la etapa de enraizamiento. Estas plantas fueron trasplantadas en suelo inoculado con la cepa de *Foc* R4T 190203 facilitada por el ICA.

Para la producción del inóculo de *Foc*, el hongo fue multiplicado en salvado de trigo estéril. Inicialmente se obtuvo la biomasa del microorganismo crecido durante siete días en medio papa-dextrosa-agar (PDA) y se resuspendió en caldo papa-dextrosa (PDB), se homogenizó con ayuda de vórtex y se filtró a través de una muselina estéril (malla 0,5 mm) para recuperar los microconidios libres de micelio. Esta suspensión se ajustó a 1×10^7 microconidios mL^{-1} en PDB estéril y se empleó para inocular sustrato estéril salvado de trigo en bolsas de alta densidad (121°C, 15 PSI, 20 minutos x dos ciclos). Se inoculó 10 ml de la suspensión de microconidios por bolsa con 72 g de salvado con 52 mL de agua destilada estéril (ADE). Luego de la inoculación las bolsas se incubaron durante 20 días a 25 °C.

Para cosechar el inóculo de *Foc* R4T multiplicado en el sustrato sólido, se hizo un lavado sumergiendo el sustrato en ADE, se agitó vigorosamente para desprender las estructuras del hongo del sustrato y se filtró por muselina estéril (malla 0,5 mm). Se calculó el rendimiento en términos de microconidios g^{-1} de sustrato mediante conteo de microconidios en cámara de Neubauer y se determinó la viabilidad de los microconidios mediante la siembra y conteo de las unidades formadoras de colonia (UFC) en medio PDA suplementado con tritón (0.1 % v/v) y cloranfenicol (250 mg L^{-1}). Finalmente, se tomó la cantidad necesaria de sustrato colonizado por *Foc* R4T para ajustar las concentraciones de los inóculos en 1×10^6 microconidios mL^{-1} de *Foc* R4T. La inoculación del patógeno en el suelo se hizo en drench 6 días antes de trasplante adicionando 100 mL de inóculo en 1×10^6 microconidios mL^{-1} en bolsas de vivero que contenían 1 kg de sustrato (turba canadiense).

Aplicación de tratamientos

Los tratamientos se aplicaron en cuatro momentos: 1. En semillero, tres días antes de trasplante (5 mL/planta), 2. En el suelo, tres días antes de trasplante (100 mL/planta), 3. En el momento de trasplante (100 mL/planta) y 4. Siete días después de trasplante (100 mL/planta). Los tratamientos correspondientes a bioplaguicidas a base de *Trichoderma* se aplicaron en 1×10^6 conidios mL^{-1} , mientras que los que contenían bacterias como principio activo se aplicaron en 1×10^7 células mL^{-1} . Las plantas se mantuvieron en condiciones semi-controladas en invernadero de bioseguridad para *Foc* R4T en zona afectada (La Guajira, Colombia). Se incluyó un control negativo (plantas crecidas en suelo inoculado con *Foc* R4T y sin método de control) y un control absoluto (plantas crecidas en suelo libre del patógeno y sin tratar).

Diseño experimental y variables evaluadas

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue de cinco plantas y se contó con dos réplicas del experimento completo en el tiempo. Se realizó el seguimiento para observar la expresión de los síntomas característicos de la enfermedad. Se midió la incidencia y la severidad de la enfermedad empleando la escala de Dita et al. (2011) con modificaciones. También se registró el periodo de incubación de la enfermedad en cada uno de los tratamientos. Se calculó el índice de severidad de la enfermedad de acuerdo con la ecuación descrita por Zhang et al. (1996). Con los datos periódicos de incidencia y de severidad se calculó el área bajo las curvas de progreso de cada variable.

Detección molecular del Foc R4T en tejido vegetal de plantas asintomáticas

Con el ánimo de verificar la presencia o ausencia de *Foc* R4T en el tejido interno del cormo de las plantas que no presentaron síntomas de enfermedad se implementó un protocolo de detección molecular estandarizado previamente. Brevemente, se cortaron fragmentos de 5 mm de la parte central del cormo y se almacenaron en tubos Eppendorf a -20 °C. Posteriormente se liofilizó el tejido durante 48 horas y se pulverizó con nitrógeno líquido para realizar la extracción de ADN empleando el protocolo propuesto por Daire et al. (1997).

Se porcionaron 300 mg de tejido pulverizado en tubos de microcentrífuga de 2 mL, adicionados con 1 mL de buffer de lisis. Se agitó en vórtex durante 1 minuto y se incubó a 65 °C en baño maría durante una hora. Posteriormente se añadieron 800 µL de cloroformo para separar las proteínas y residuos, agitando en vórtex por 30 s y centrifugando a máxima velocidad por 10 min. El sobrenadante resultante, se precipitó usando 800 µL de Isopropanol e incubando a 4 °C por 15 minutos hasta observar la aparición de la madeja de ADN. La madeja se rescató manualmente usando una punta de micropipeta de 10 µL de volumen, y se trasladó a un tubo nuevo con 800 µL de etanol al 70%. La calidad del ADN obtenido se verificó por electroforesis en gel de agarosa y la concentración se determinó mediante la cuantificación por espectrofotometría empleando un NanoDrop. Para determinar si el ADN presentaba suficiente calidad para PCR se realizó la amplificación de un gen que amplifica elementos repetitivos específicos de musáceas (BrepF: 5' GATTTTGTAGATTTTGGACACCG 3' BrepR: 5' GAATAACAAATATGCTCCAATACCC 3') (Mansoor et al., 2005) y se usó como control positivo ADN de tejido vegetal de banano y como control negativo ADN de pasto kikuyo.

Con el propósito de confirmar el ingreso detectable de *Foc* R4T al tejido de cormo de plantas de banano asintomáticas, se realizó amplificación por PCR convencional de un marcador molecular específico para *Foc* R4T (W2987_F: 5'-TGCCGAGAACCACTGACAA-3'; W2987_R: 5'-GCCGATGTCTTCGTCAGGTA-3) (Li et al., 2013) a partir del ADN vegetal extraído. Como control se usó un ADN de planta infectada con *Foc* R4T y como control negativo se usó ADN de *Foc* R1.

Análisis de los datos

Inicialmente se eliminaron los datos atípicos en las diferentes réplicas. Luego de comprobar la normalidad (Shapiro-Wilk, $\alpha = 0.05$) y de homogeneidad de varianzas

(Bartlett, $\alpha= 0.05$), los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de Dunnett ($\alpha= 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera réplica del experimento los síntomas de la enfermedad se presentaron a partir del día 61 después de trasplante (ddt). El experimento tuvo una duración de 80 días desde el trasplante, periodo en el que alcanzó 90% de incidencia de la enfermedad en el control patógeno (Figura 1). Los tratamientos T5 (*B. subtilis*), T7 (*B. amyloliquefaciens*, *A. radiobacter* K84 y *B. pumilus*) y el tratamiento T9 (mezcla de *Trichoderma* spp.) redujeron el progreso de la incidencia de la enfermedad con respecto al tratamiento control negativo (Figura 1), con eficacias de 63%, 98% y 92%, respectivamente. Solo los tratamientos T7 y T9 redujeron el progreso del índice de severidad de la enfermedad (Figura 2) en 96% y 89%, respectivamente, comparados con el control negativo.

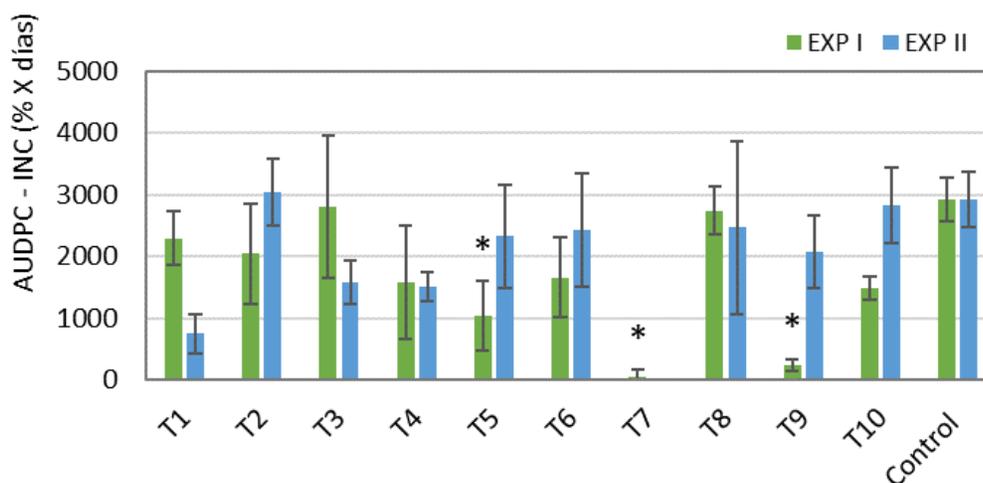


Figura 1. Área bajo la curva de progreso de la incidencia (AUDPC – INC) del marchitamiento del banano en respuesta al tratamiento de las plantas con bioproductos a base de agentes de control biológico en dos repeticiones del experimento (EXP I y EXP II). Las barras sobre las columnas representan la desviación estándar de los datos (n=3). Los asteriscos indican diferencias significativas con respecto al control negativo en cada experimento de acuerdo con la prueba Dunnett ($\alpha= 0.05$).

En la segunda réplica del experimento, el periodo de incubación fue más corto, los primeros síntomas se observaron a los 27 ddt. A los 55 ddt el control negativo presentó el 90% de incidencia lo que determinó la finalización del experimento (Figura

1). En esta réplica el tratamiento T7 redujo en 100 % la incidencia y severidad de la enfermedad con ausencia de plantas enfermas durante el transcurso de la evaluación (Figura 1 y 2). El patógeno no fue detectado en ninguna de las plantas aparentemente sanas mediante detección molecular.

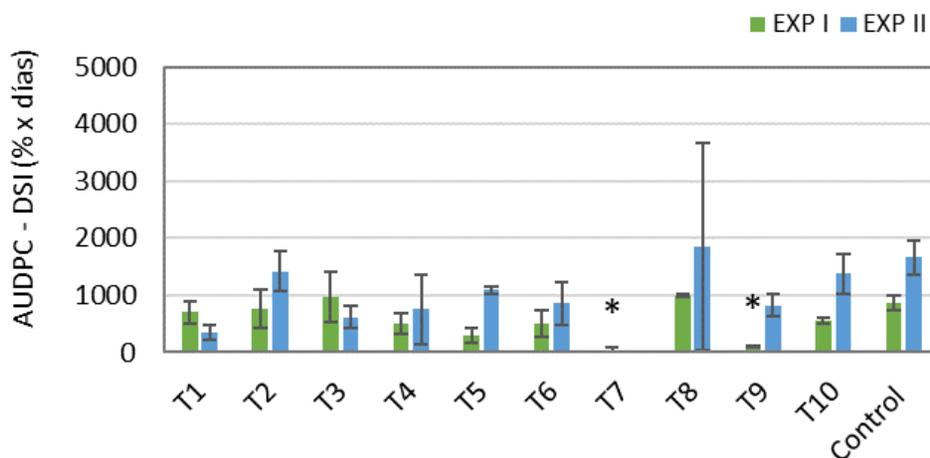


Figura 2. Área bajo la curva de progreso del índice de severidad (AUDPC – DSI) del marchitamiento del banano en respuesta al tratamiento de las plantas con bioproductos a base de agentes de control biológico en dos repeticiones del experimento (EXP I y EXP II). Las barras sobre las columnas representan la desviación estándar de los datos (n=3). Los asteriscos indican diferencias significativas con respecto al control negativo en cada experimento de acuerdo con la prueba Dunnett ($\alpha= 0.05$).

CONCLUSIONES

El tratamiento T7 mostró consistencia en la reducción de la enfermedad entre las dos réplicas del experimento con eficacias de hasta el 100 %, siendo un tratamiento promisorio para el control de la enfermedad. En la actualidad se están desarrollando ensayos similares en condiciones de campo, para evaluar el efecto de los biocontroladores en condiciones de infección natural. Se avanza adicionalmente en la caracterización de los sus modos de acción y eco-fisiológica de los tratamientos con el fin de contar con un tratamiento de referencia que permita facilitar la búsqueda de las características de tratamientos eficaces en el control de la enfermedad.

REFERENCIAS

1. Akila, R., Rajendran, L., Harish, S., Saveetha, K., Raguchander, T., Samiyappan, R. (2011). Combined application of botanical formulations and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) causing Fusarium wilt in banana. *Biological Control*, 57, 175–183.
2. Daire, X., Clair, D., Reinert, W., & Boudon-Padieu, E. (1997). Detection and differentiation of grapevine yellows phytoplasmas belonging to the elm yellows group and to the stolbur subgroup by PCR amplification of non-ribosomal DNA. *European Journal of Plant Pathology*, 103(6), 507–514. Doi:10.1023/a:1008641411025
3. Dita MA; Waalwijk C; Paiva LV; Souza Jr M.T., & Kema GHJ. 2011. A greenhouse bioassay for the *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* x ‘Grand Naine’ (Musa, AAA, Cavendish subgroup) interaction. *Acta Hort.* 897:377–380.
4. FAO. (2018). *NIMF 5. Glosario de términos fitosanitarios. Normas Internacionales de Medidas Fitosanitarias*. Retrieved from https://www.ippc.int/largefiles/adopted_ISPMs_previousversions/es/ISPM_05_2005_Es_2006-05-02.pdf
5. Garcia-Bastidas, F., Quintero-Vargas, C., Ayala-Vasquez, M., Seidl, M. F., Schermer, T., Santos-Paiva, M., & Kema, G. H. (2019). First report of Fusarium wilt Tropical Race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. *Plant Disease*, (2018), 1–5.
6. ICA, 2022. Bioinsumos registrados a 30 de septiembre de 2022. <https://www.ica.gov.co/getdoc/2ad9e987-8f69-4358-b8a9-e6ee6dcc8132/productos-bioinsumos-mayo-13-de-2008.aspx>
7. Li, Y., Jiang, S., Jiang, J., Gao, C, Qi, X., Zhang, L., Sun, S., Dai, Y., & Fan, X. (2022). Synchronized efficacy and mechanism of alkaline fertilizer and biocontrol fungi for *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4. *J. fungi*. 2022, 8, 261. <https://doi.org/10.3390/jof8030261>
8. Mansoor, S., Qazi, J., Amin, I., Khatri, A., Khan, I. A., Raza, S., ... Briddon, R. W. (2005). A PCR-Based Method, With Internal Control, for the Detection of Banana Bunchy Top Virus in Banana. *Molecular Biotechnology*, 30(2), 167–170.
9. Ploetz, Randy C. (2015). Fusarium wilt of banana. *Phytopathology*, 105(12), 1512–1521.
10. cv. Grand Naine. *Biocontrol Science & Technology*. 25 (10), 1147–1164
11. Wong, N.B. Saidi, G. Vadamalai, C.Y., & D. Zulperi (2019). Effect of bioformulations on the biocontrol efficacy, microbial viability and storage stability of a consortium of biocontrol agents against Fusarium wilt of banana. *Journal of Applied Microbiology*. 127, 544–555.
12. Zhang, Jiuxu, Howell, C. R. & Starr, J. L. 1996. Suppression of Fusarium colonization of cotton roots and Fusarium wilt by seed treatments with *Gliocladium virens* and *Bacillus subtilis*. *Biocontrol Science and Technology* 6: 175-188. <https://doi.org/10.1080/09583159650039377>

Caracterización de la microbiota de suelos supresores y conductores a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

Antônio Lopes de Souza^{1*}; Juan Lopes Teixeira¹; Marco Aurélio Siqueira da Gama²; Iwanne Lima Coelho¹

¹Atlas Bioinsumos. São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais, Brasil; ²Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, Pernambuco, Brasil.

*Autor de

Correspondencia:

Antônio Lopes de Souza
metaagro@hotmail.com

Contribución:

Científica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Lopes dSA, Lopes TJ, Siqueira dGMA y Lima CI. 2024. Caracterización de la microbiota de suelos supresores y conductores a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 49
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2449>

RESUMEN

El cultivo de banano ocupa 463,326 hectáreas en Brasil, y la mitad de esta superficie está plantada con la ‘banana-prata’, susceptible a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. La incidencia del Mal de Panamá limita la productividad. La correlación entre el microbiota de suelos propicios o supresores, en la relación al Mal de Panamá, se realizó mediante análisis multivariado de los resultados metagenómicos de quince muestras de suelo de áreas productoras de banano en Brasil. Se recolectaron siete muestras de parcelas con plantas sintomáticas del Mal de Panamá (propicias) y ocho muestras de parcelas sin plantas sintomáticas (supresoras). La agrupación de datos (UPGMA) destacó los grupos de Áreas conductoras y supresas.

Palabras clave: microorganismos antagonistas, control biológico, Mal de Panamá, Fitosanidad.

ABSTRACT

Banana cultivation occupies 463,326 hectares in Brazil, half of this area planted with the ‘banana-prata’, susceptible to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). The incidence of Panama disease limits productivity. The correlation between the microbiota of conducive or suppressive soils, in relation to Panama disease, was carried out by multivariate analysis of the metagenomic results of fifteen soil samples from banana producing areas in Brazil. Seven samples were collected from plots with plants symptomatic of Panama disease (conductive) and eight samples from plots with no symptomatic plants (suppressive). The data grouping (UPGMA) highlighted the groups of conducive and suppressive areas.

Keywords: antagonistic microorganisms, biological control, Panama disease, suppressive soil, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El cultivo de banano ocupa una superficie de 463.326 hectáreas en Brasil, con una producción de 7.065.752 toneladas (IBGE, 2023), la mayor parte está plantada con 'banana-prata'. La 'banana-prata' es afectada por el Mal de Panamá, causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, lo que reduce la longevidad de las plantaciones de banano y torna inviables propiedades e incluso importantes regiones para el cultivo de variedades del grupo 'banana-prata' (Costa et al. 2014). La idoneidad de los suelos para el cultivo de 'banana-prata' parece estar relacionada con su capacidad supresiva para *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (Dita y Haddad, 2018) y los suelos más arenosos son más propensos a enfermedades (Heck, 1990). Con el avance de los recursos biotecnológicos, el análisis metagenómico permite evaluar la composición de la microbiota del suelo, identificando microorganismos benéficos, así como fitopatógenos (Effend et al. 2019). Así, el objetivo de este estudio fue evaluar la microbiota de los suelos utilizados para el crecimiento de cultivares de 'banano-prata' con la aparición y ausencia de plantas con síntomas del Mal de Panamá mediante análisis metagenómicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron siete propiedades en cuatro importantes centros productores de banano: Bom Jesus da Lapa – BA (ESTQ3, ESTP2Q3 y ESTP3Q2), Jaíba – MG (Atlas 1, Atlas 2, Atlas 3 y BS2P3), Sete Lagoas – MG (Olhos Verdes) y Delfinópolis – MG (Sugoi3, Sugoi4, Sugoi5, Sugoi8, Sugoi9 y Sugoi10). En cada propiedad, las parcelas con plantas que presentaban síntomas del Mal de Panamá se consideraron suelos propicios para el patógeno, mientras que las parcelas con ausencia de plantas sintomáticas se consideraron suelos supresores, conformando siete parcelas propicias y ocho supresoras.

Se recolectaron muestras de suelo, que consistieron en 5 submuestras, de cada parcela a una profundidad de 0 a 20 cm. Las muestras de suelo se extrajeron utilizando el kit ByMyCell. Las muestras de DNA se sometieron a la amplificación del gen completo del ARNr 16S (fragmento de ~1,6 kb) para la identificación de bacterias, y del gen ITS, regiones ITS1-ITS2 (fragmento de 650-950 pb), para la identificación de hongos y levaduras. Los amplicones se visualizaron en gel de agarosa y se cuantificaron. Los fragmentos resultantes se usaron para construir bibliotecas de secuenciación y se secuenciaron en una plataforma MinION (Oxford Nanopore) usando Flongles Flow Cell (FLO-FLG114). Después de la secuenciación, las lecturas

resultantes se llamaron mediante la versión de GPU Guppy Basecaller (v 6.0.7). Las lecturas producidas se filtraron para control de calidad en Q10 usando NanoFilt (v2.3.0) y se de multiplexaron usando Porechop (v0.2.4). Las lecturas se mapearon con una base de datos de referencia ITS y ARNr 16S utilizando la herramienta KMA (v1.4.3). Los análisis de datos se generaron utilizando Python 3.7. Los resultados obtenidos por los análisis metagenómicos fueron sometidos a análisis multivariado utilizando el programa PASTE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron análisis de conglomerados y análisis de componentes principales, siendo considerados para discusión los componentes con $r > 0,70$. La agrupación de los datos con algoritmo UPGMA y distancias euclidianas generó dos grupos, con coeficiente de correlación cofenética (CCC) $r = 0,87$. Uno de los grupos estuvo formado por propiedades con suelos supresores, mientras que el otro grupo estuvo formado por propiedades con suelos propicios para *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (Figura 1).

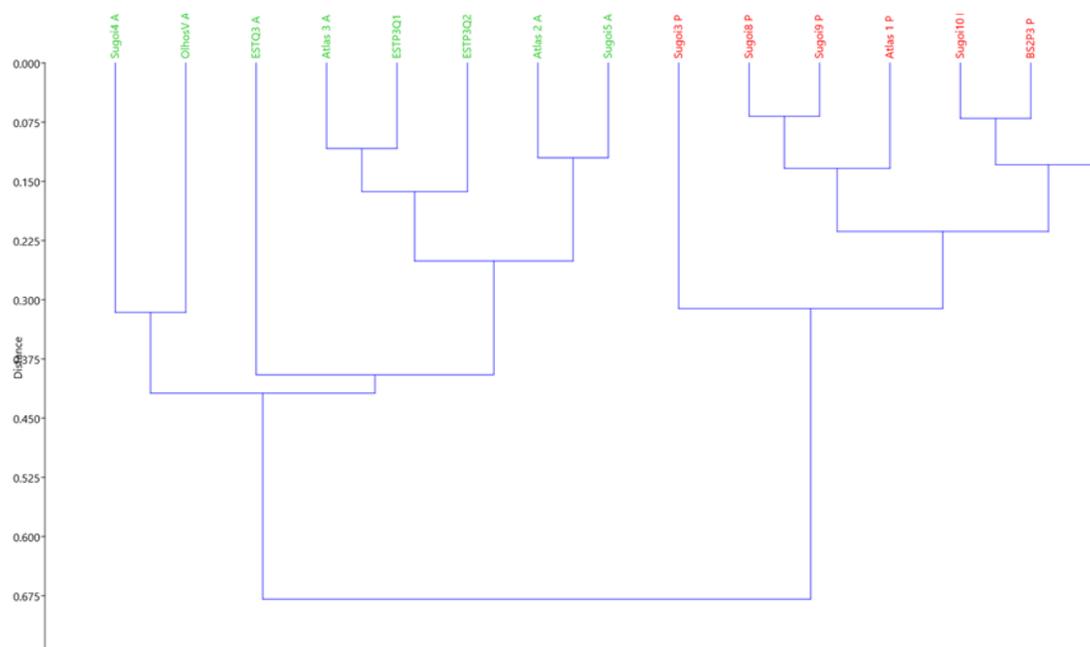


Figura 1. Dendrograma resultante del análisis de 15 parcelas de áreas de producción de banano: Atlas 1, Atlas 2, Atlas 3, ESTQ 3, ESTP3Q 1, ESTP3Q 2, Sugo3, Sugo4, Sugo5, Sugo8, Sugo9, Sugo10, Olhos V, Rana y BS2P3, obtenidos por el método UPGMA utilizando la distancia euclidiana ($r = 0,87$). **Nota:** las áreas verdes representan la ausencia del mal de Panamá y las áreas rojas representan la presencia de la enfermedad.

Según la matriz de valores propios, el componente principal 1 explicó el 81,22% de la variación de los datos y el componente principal 2 explicó el 8,43%. La matriz de correlación de las variables indicó que *Bacillus* sp. fue la variable que más afectó al componente 1 ($r=0,82$) y se correlacionó negativamente con *Fusarium* sp. ($r= -0,54$) (Tabla 1).

Cuadro 1. Matriz de correlaciones entre las variables de los componentes principales y los microorganismos presentes en las zonas de cultivo de banano.

Organismos	Componente Principal							
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
<i>Bacillus</i>	0.8162 5	- 0.2563 1	- 0.1617 7	0.2389 4	0.1087 7	0.0783 6	0.4067 4	0.0371 8
<i>Trichoderma</i>	0.1634 5	0.7102 5	- 0.0405 8	- 0.1641 9	- 0.2665 2	0.5673 1	0.1738	- 0.1309 5
<i>Metarhizium</i>	- 0.0812 6	0.1815 3	0.6857 5	0.6528 5	0.21119	0.1026	0.0914 7	- 0.0133 5
<i>Purpureocillium</i>	0.0924 6	0.0426 1	0.5442 1	- 0.6332 4	0.1377 6	- 0.2722 6	0.4369 5	0.0919 3
<i>Bradyrhizobium</i>	0.1041 2	0.6215 8	- 0.3000 7	0.1462 9	0.3299 6	- 0.6126 3	- 0.0004 9	0.0919 3
<i>Paenibacillus</i>	0.1265 6	- 0.0036 5	0.0015 6	- 0.2470 1	0.7905 8	0.3784 9	- 0.3911 3	0.0846 4
<i>Burkholderia</i>	0.0052 2	0.0533 8	0.0033 7	0.0100 4	- 0.0634 8	0.1571 2	- 0.0843 1	- 0.0410 6
<i>Fusarium</i>	- 0.5147 7	- 0.0765 1	- 0.3401 7	0.0789 0	0.3396	0.2100 2	0.6670 6	0.0529 6

Fan *et al.* (2021), obtuvieron la reducción poblacional de *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, Raza Tropical 4 (TR4), utilizando un aislado de *Bacillus amyloliquefaciens* y uno de *B. subtilis*. Según Singh *et al.* (2021), *B. amyloliquefaciens* (cepa S185) tuvo un papel clave en la prevención del patógeno, produciendo el compuesto antifúngico iturina A5 y tiene potencial como biocontrol económico y sostenible para el mal de Panamá en el futuro.

El género *Bacillus* comprende una amplia gama de especies reconocidas por promover el crecimiento de las plantas. Según Radhachrishnan *et al.* (2017), *Bacillus* spp., utilizados como biofertilizantes, pueden tener los siguientes efectos en las plantas cultivadas: a) promoción del crecimiento (*B. subtilis* y *B. methylotrophicus*); aumento del rendimiento de frutos y cereales (*B. subtilis* y *B. megaterium*), aumento de la solubilización de fósforo y fijación de nitrógeno en el suelo (*B. pumilus* y *B. megaterium*); promover la síntesis de fitohormonas para el crecimiento de las plantas (*B. subtilis* y *B. methylotrophicus*) y reducir la senescencia de las plantas (*B. subtilis* y *B. mojavensis*).

Dentro del conjunto de variables estudiadas en este trabajo, la abundancia de organismos estuvo más relacionada con la supresión o acción propicia a *Fusarium* sp. que a la diversidad de microorganismos. Se puede observar en el gráfico porcentual a continuación (Figura 2) que, en las parcelas supresoras, la abundancia de organismos benéficos es mucho mayor que la abundancia de *Fusarium* sp.

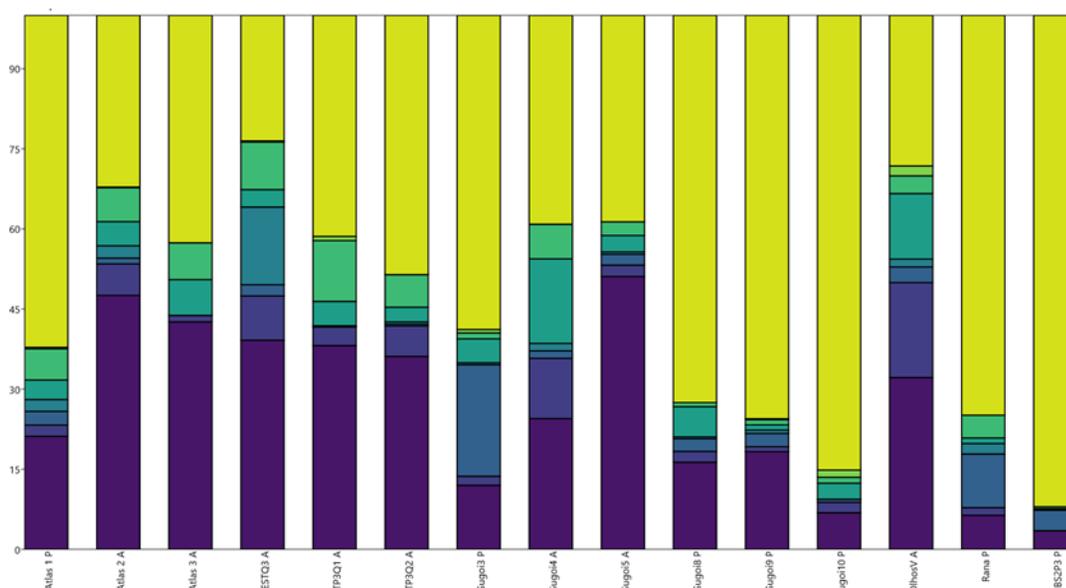


Figura 2. Abundancia (%) de organismos benéficos versus abundancia (%) de *Fusarium* sp.

Lo mismo ocurre en el estudio de la abundancia del número promedio de organismos (Figura 3), siendo el género *Bacillus* sp. el más abundante. La zona Olhos Verdes, que nunca ha tenido registro de plantas con síntomas de mal de Panamá en 12 años de cultivo de ‘banana-anã’, mostró una alta abundancia de *Trichoderma* sp., además de *Bacillus* sp.

Respecto al conjunto de variables estudiadas en este trabajo, la abundancia relativa de organismos está relacionada con la supresividad o conductividad hacia *Fusarium* sp. Según Lobo Júnior *et al.* (2022), la supresividad de un suelo puede estar relacionada con componentes muy específicos y complejos, sin embargo, la diversidad microbiológica contribuye a la estabilidad de las funciones y el papel antagónico que desempeñan los microorganismos en el ecosistema del suelo. Micheleff *et al.* (2005), utiliza el concepto de densidad de inóculo y afirma que en varios patosistemas, la incidencia de enfermedades puede ser proporcional a la densidad de inóculo.

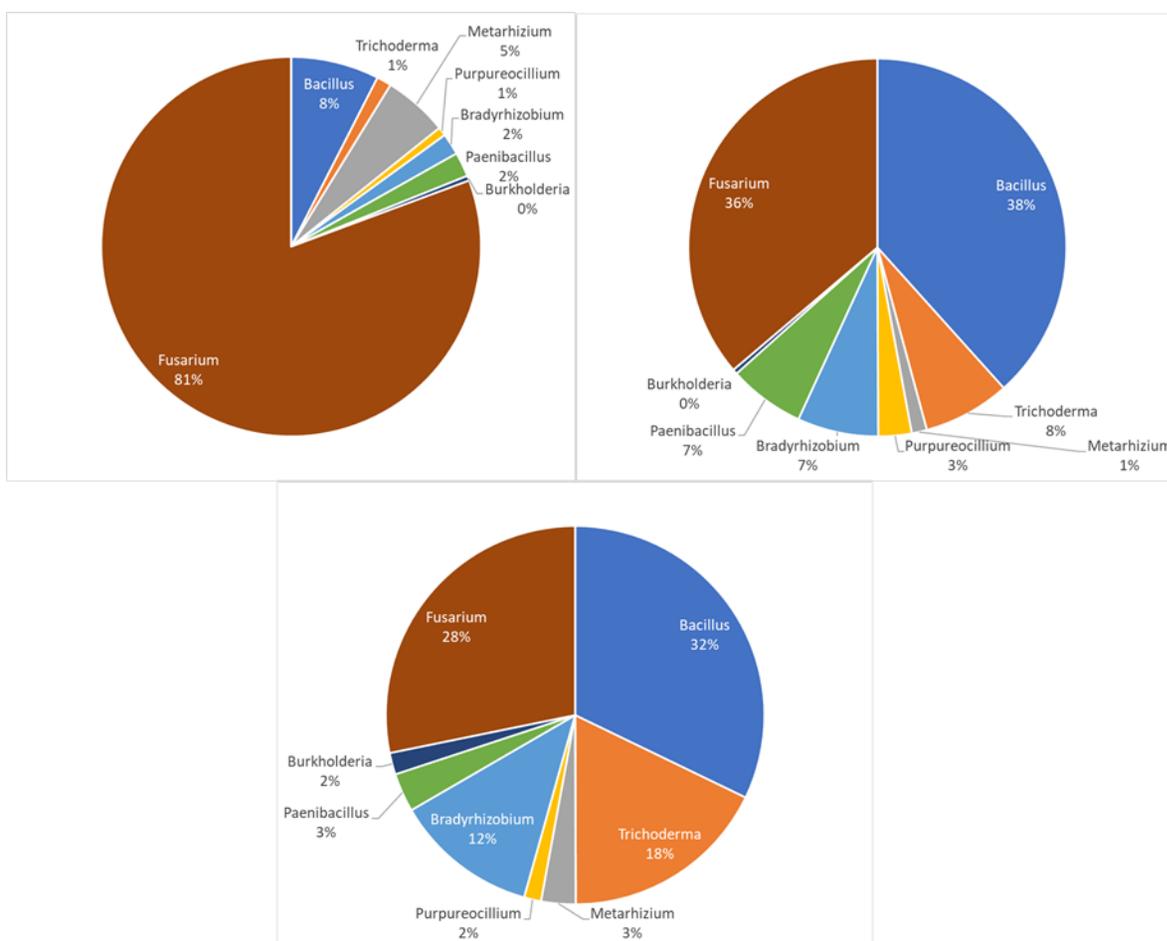


Figura 3. Comparación de la abundancia de organismos entre el promedio de las parcelas propicias (A), las parcelas supresoras (B) y la parcela Olhos Verdes (C).

CONCLUSIONES

Suelos considerados supresores de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* mostraron mayor abundancia relativa de *Bacillus* sp., seguido de *Trichoderma* sp., en comparación con los suelos considerados conductores.

A partir de los prometedores resultados presentados, se llevarán a cabo nuevas investigaciones con el objetivo de evaluar el efecto de los microorganismos antagonistas mencionados en este trabajo en suelos conductores, mediante una aplicación inundativa de programas de microorganismos y análisis de microbiota.

REFERENCIAS

1. Costa S N, Bragança C A D, Ribeiro, L R, Amorim, E P, Oliveira S A A, Dita, M A, Laranjeira F F, Haddad, F. 2014. Genetic structure of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in different regions from Brazil 64: 137-146.
2. Dita M, Haddad F. 2018. Raça 4 tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*: subsídios para caracterização de praga quarentenária ausente. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/arquivos-prevencao/relatorio-tecnico_mapa_isbn.pdf. Acesso em: 12 de nov. de 2023.
3. Effend Y, Pambudi A, Pancoro A. 2019. Metagenomic analysis of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* infected soil in banana plantation, Sukabumi, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity 20: 1939-1945.
4. Fan H, Li S, Zeng L, He P, Xu S, Bai T, Huang Y, Guo Z, Zheng S. 2021. Biological Control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 Using Natively Isolated *Bacillus* spp. YN0904 and YN1419. Journal of Fungi 7:795.
5. Heck D W. 1990. Supressividade a *fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* por produtos orgânicos (Dissertação) – Universidade Estadual Paulista, 136 f.
6. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. SIDRA 2016: Sistema IBGE de recuperação automática [on line]. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 12 de nov. 2023.
7. Lobo Júnior M, Macedo R, Santos-Goulart P F. 2022. Solos Supressivos a doenças. In: Meyer, M C.; Bueno A F, Mazaro, S M; Silva, J C. (ed.). Bioinsumos na cultura da soja. Brasília, DF: Embrapa, 2022, p. 215-226.
8. Michereff S J, Andrade D E G T, Menezes M. 2005. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. Recife:UFRPE, Imprensa Universitária, 398 p.
9. Radhakrishnan R, Hashem A, Abd-Allah E F. 2017. *Bacillus*: A Biological Tool for Crop Improvement through Bio-Molecular Changes in Adverse Environments. [Frontiers in Physiology 8:667](#)
10. Singh P, Xie J, Qi Y, Qin Q, Jin C, Wang B, Fang W. 2021. A Thermotolerant Marine *Bacillus amyloliquefaciens* S185 Producing Iturin A5 for Antifungal Activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Marine Drugs 19:516.

Evaluación de aislados nativos de *Trichoderma* contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1 y Raza 2 en México

Alba P. Suaste-Dzul^{1*}; Yulissa Guadalupe Paredes-Jurado¹; Gisela Jareth Lino-López¹; Facundo Rafael Muñiz Paredes¹; Jorge Antonio Sánchez González¹; Francisco Ramírez y Ramírez²; Guillermo Santiago Martínez²

¹Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, DGSV-SENASICA, Tecomán, Colima, México. ² Dirección General de Sanidad Vegetal-SENASICA, Tecamac, Edo de México, México.

*Autor de

Correspondencia:

Alba P. Suaste-Dzul
albasuaste@gmail.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Suaste-Dzul AP, Paredes-Jurado YG, Lino-López GJ, Muñiz PFR, Sánchez GJA, Ramírez yRF y Santiago MG. 2024. Evaluación de aislados nativos de *Trichoderma* contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1 y Raza 2 en México. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 50
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2450>

RESUMEN

En la década de los 60's la enfermedad conocida como Marchitez por *Fusarium* Raza 1 (Foc R1) y Raza 2 (Foc R2) amenazó plantaciones de *Musa* spp. Actualmente el riesgo de introducción de Foc R4T, afectaría su producción y exportación. Ante la eventual introducción de Foc R4T, se propone un manejo integrado para mejorar la salud del suelo. En este estudio se obtuvieron 240 aislados nativos identificados como *Trichoderma* spp. de cinco áreas de producción de musáceas en México. Las evaluaciones *in vitro* presentaron un antagonismo de 69-70% del porcentaje de inhibición del crecimiento contra Foc R1, mientras que para la Raza 2 del 61-63%, contra aislados nativos.

Palabras clave: Manejo integrado, bioprospección, Marchitez por *Fusarium*, control biológico, Fitosanidad.

ABSTRACT

In the 1960s, *Musa* spp. plantations were threatened by *Fusarium* wilt Race 1 (Foc R1) and Race 2 (Foc R2). Currently, the introduction of Foc R4T poses a risk to both production and exports. Therefore, integrated management is proposed to improve soil health in preparation for eventual arrival of Foc R4T. This study obtained 240 native isolates of *Trichoderma* spp. from five Musaceae production areas in Mexico. The *in vitro* analysis revealed 69-70% antagonism in the growth inhibition percentage against Foc R1, and 61-63% antagonism against Race 2, when tested against native isolates.

Keywords: Integrated Management, bioprospection, *Fusarium* wilt, biological control, phytosanitary.



INTRODUCCIÓN

La Marchitez por *Fusarium*, provocada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* es una de las enfermedades más devastadoras que supone una grave amenaza para la industria bananera mundial. Existen tres razas de este patógeno que afectan plátanos y bananos, la Raza 1 (Foc R1), Raza 2 (Foc R2) y la Raza 4 tropical (Foc 4T). Con esto, la presencia de este patógeno en dos países de América (Colombia y Perú), incrementa el riesgo de su introducción a México (Florencio-Anastasio *et al.*, 2022). Sin medidas de control eficaces disponibles hasta la fecha, se ha explorado el control biológico para restringir la propagación e implementar acciones preventivas contra el fitopatógeno (Damodaran *et al.*, 2020). El género *Trichoderma* es un hongo con gran potencial antagonista debido a su rápido crecimiento, su capacidad para colonizar diversos sustratos y su resistencia a productos químicos nocivos. Este hongo antagonista es parte de los componentes predominantes del microbioma del suelo en diversos ecosistemas, como campos agrícolas, praderas, bosques, pantanos y desiertos (Kamala *et al.*, 2015). Varias especies de *Trichoderma* son importantes agentes de control biológico de fitopatógenos fúngicos y actúan como estimuladores de la salud de las plantas. A partir de este punto, y a manera de responder ante cualquier situación de emergencia fitosanitaria, es necesario realizar actividades de exploración y selección de aislados de hongos nativos de *Trichoderma* spp. con potencial para inhibir el crecimiento del modelo fitopatogénico Foc R1/Foc R2 en áreas productoras de plátanos y bananos del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para la obtención de aislados nativos de *Trichoderma* spp. se colectaron muestras de suelo asociadas a la rizósfera de plátanos y bananos en el estado de Colima (Cuadro 1). Adicionalmente, como parte de las actividades de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (VEF) para la detección oportuna de Foc R4T, que implementa el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria a través de los Comités Estatales de Sanidad Vegetal, se solicitó el apoyo de los técnicos del Programa de VEF y de la campaña contra Moko del Plátano de los estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y Michoacán para la colecta de muestras compuestas de suelo, con el propósito de incrementar los sitios de muestreo representativos de áreas bananeras en México (Cuadro 1) y obtener aislamientos que estén adaptados tanto al cultivo como a las condiciones climáticas y/edáficas donde se cultiva plátano y banano en nuestro país. Las exploraciones y los muestreos se realizaron en predios de plátanos y bananos, en

donde no se tenía evidencia de aplicación de productos comerciales a base de microorganismos, sin explotación excesiva del suelo y evitando sectores de camino de personal o animales. Una muestra compuesta se conformó de por lo menos 20 puntos al azar dentro de la unidad productora.

Cuadro 1. Sitios de muestreo para la obtención de aislados nativos de *Trichoderma* spp.

Procedencia	Municipio	Cantidad de muestra	Variedad muestreada
Colima	Tecomán	3	Enano gigante, Dominico y Plátano Macho
	Armería	2	Enano gigante, plátano pera
Michoacán	Coahuayana	2	Enano gigante
	Apatzingán	2	Enano gigante
	Parácuaro	2	Enano gigante
	Tapachula	1	Enano gigante
Chiapas	Las Margaritas	1	Plátano criollo
	Copainalá	1	Plátano Macho
	Suchiate	1	Enano gigante
	Mazatán	1	Enano gigante
	La Independencia	1	Plátano criollo
	Ostuacán	1	Plátano criollo
	Pichucalco	1	Enano gigante
	Álamo Temapache	1	Plátano Macho
Veracruz	Atzalán	1	Dominico
	Papantla	1	Plátano Macho
	Tlapacoyan	1	Dominico
	Nautla	1	Plátano macho
	San Rafael	1	Enano gigante
	Cunduacán	1	Enano gigante
Tabasco	Centro	1	Enano gigante
	Huimanguillo	1	Enano gigante
	Jalapa	1	Francés
	Tacotalpa	1	Enano gigante
	Cárdenas	1	Enano gigante
	Teapa	1	Enano gigante

Proceso de aislamiento de hongos antagonistas

El aislamiento de los hongos antagonistas, especialmente del género *Trichoderma* spp., se realizó por el método de dilución en placa utilizando el medio de cultivo Rosa de Bengala (Souza-Motta *et al.*, 2003). Para cada muestra compuesta de suelo, se pesaron 25 g y se resuspendieron en 225 mL de agua destilada estéril (dilución de 1:10). Posteriormente, se adicionó 1 mL de la suspensión en 99 mL de agua destilada estéril, manteniendo todas las muestras en agitación (~550 rpm). En la base de las placas de Petri se inoculó 1 mL de la suspensión de suelo 1:100 y enseguida se vació 15 mL del medio Rosa de Bengala (DIFCO™) a una temperatura de 45 ± 2 °C. Las placas de Petri fueron homogenizadas manualmente con movimientos rotación suaves y se incubaron 27 ± 2 °C por 5-7 días, hasta la aparición de colonias de *Trichoderma*. Se realizó 10 réplicas en medio Rosa de Bengala por cada muestra de suelo destinada al aislamiento de hongos antagonistas. Las claves taxonómicas utilizadas para la identificación de *Trichoderma* spp. fueron las descritas por Gams y Bissett (2002).

Modelo Fitopatogénico: Foc R1 y Foc R2

Los hongos fitopatógenos fueron donados por el Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Ambos aislados correspondientes a Foc R1 y Foc R2 fueron reactivados en Agar de Dextrosa de Patata (PDA) y cultivados durante 7 días a 27°C, para lograr la esporulación del micelio. Ambas cepas, fueron analizadas para su identificación molecular utilizando la región ITS.

Antagonismo *In vitro*

El efecto antagónico de los aislados nativos de *Trichoderma* spp. sobre Foc R1 y Foc R2 se determinó utilizando el método de cultivos duales. En un extremo de la placa de Petri se sembró un disco de 9 mm del medio de cultivo PDA que contenía el micelio del aislado nativo de *Trichoderma* y, en el extremo opuesto, un disco de Foc R1 o Foc R2, manteniendo una distancia de 4-4.5 cm entre cada disco confrontado en una placa de Petri de 9 cm de diámetro. Se utilizaron como controles los discos de Foc R1 y Foc R2, sin confrontar. Los aislados confrontados y sus controles, fueron incubados a 27 °C durante 7 días, o hasta que el micelio del tratamiento control llenara por completo la placa de Petri. En todos los ensayos se utilizaron cuatro réplicas por tratamiento y los experimentos fueron repetidos independientemente dos veces, bajo un diseño completamente al azar. Se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento de micelio (PICM) de Foc R1 y Foc R2, utilizando la siguiente fórmula desarrollada por Matarese *et al.* (2012):

$$\text{PICM (\%)} = \left[\frac{[R_1 - R_2]}{R_1} \right] \times 100$$

Donde R_1 = Crecimiento radial del fitopatógeno sin confrontar (control); R_2 = Crecimiento radial del fitopatógeno en confrontación con el antagonista.

Los datos obtenidos del ensayo de confrontación *in vitro* se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de separación de medias con Tukey con $p \leq 0.05$ con el paquete estadístico SPSS Statistics (IBM Corp, 2013). Así mismo, se utilizó la escala de antagonismo propuesta por Bell *et al.*, (1982), con el fin de determinar el grado de actividad antagonista *in vitro* de *Trichoderma* spp. contra la Raza 1 y Raza 2 de Foc (Cuadro 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De manera sistemática, se obtuvieron un total de 240 aislados nativos de *Trichoderma* spp., distribuidos entre los cinco principales estados productores de plátanos y bananos (Figura 1). El mayor número de aislados de *Trichoderma* fueron obtenidos del estado de Tabasco, seguido de Chiapas y Veracruz. Con frecuencia la biodiversidad en las comunidades microbianas está relacionada con la productividad y la estabilidad de los ecosistemas (Wang *et al.*, 2023). Por lo tanto, debido a la importancia ecológica de *Trichoderma* spp. y a su aplicación como agente de control biológico en el campo, en este estudio se pretende conocer su biodiversidad en las principales áreas productoras de plátano, a fin de ser utilizadas como tecnología preventiva contra las razas fitopatógenicas de Foc que están presentes y ausentes en México.

Todos los aislados nativos del antagonista *Trichoderma* fueron identificados a nivel de género por sus características morfológicas (Figura 2), y se encuentran en proceso de identificación molecular. Por otro lado, las cepas de Foc R1 y Foc R2, a pesar de no distinguirse morfológicamente, se observó la presencia de microconidios unicelulares, ovoides, con una y dos células en cadenas simples o cortas, y macroconidios hialinos y multiseptados. Estos resultados fueron confirmados por análisis de la región ITS con 100% de identidad con *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* del GenBank.

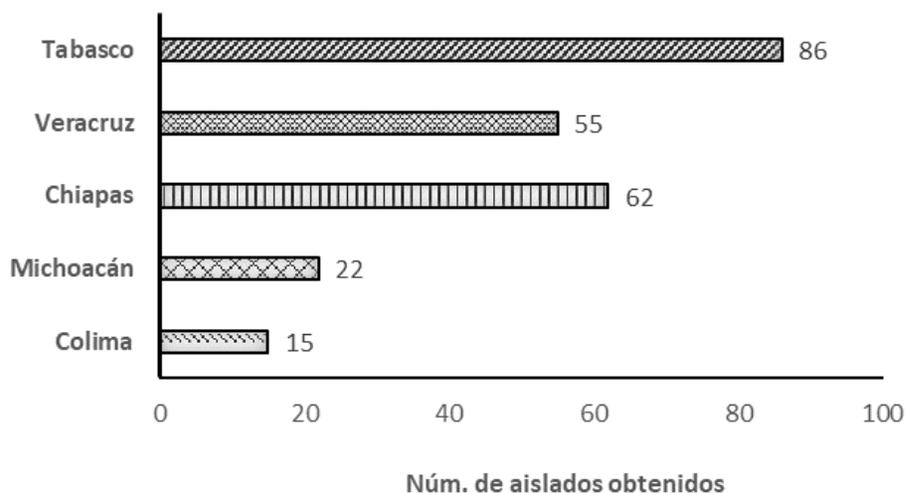


Figura 1. Número total de aislados nativos de *Trichoderma* obtenidos de cinco Estados productores de plátanos y bananos.

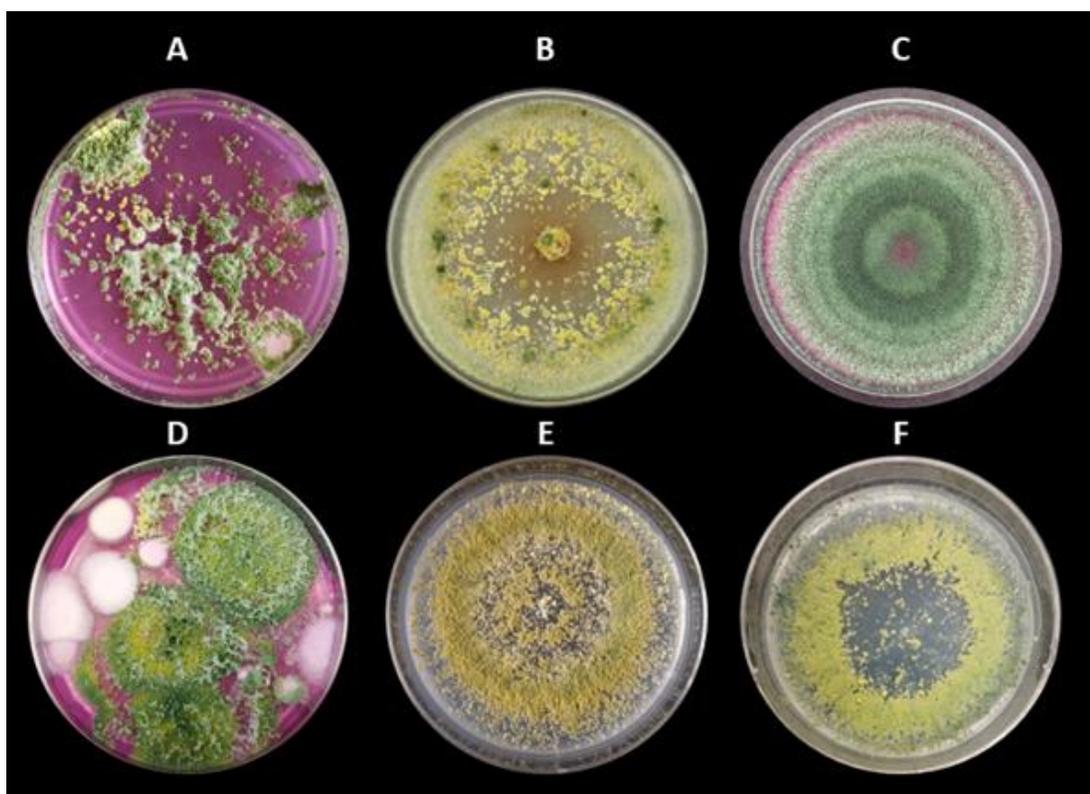


Figura 2. *Trichoderma* nativas de la rizósfera de plátanos y bananos. **A.** Aislamiento proveniente de Colima; **B.** Aislado CHE-CNRCB 1119 de Colima; **C.** Aislamiento CHE-CNRCB 1117 de Colima; **D.** Aislamiento proveniente de Michoacán; **E.** Aislamiento 24B. 1 de Michoacán; **F.** Aislamiento 24B. 2 de Michoacán.

Las cepas nativas de *Trichoderma* spp. obtenidas en el estado de Colima, CHE-CNRCB 1116, 1117, 1119 y 1120 mostraron inhibición significativa frente al crecimiento de Foc R1 entre un 69-70 % ($p < 0.05$) cuando fue comparado con su control, sin confrontar. Por otro lado, la acción antagonista ejercida por las cepas nativas CHE-CNRCB 1115 y 1120 contra Foc R2 fue de 61.3 y 62.5 % ($p < 0.05$), respectivamente (Figura 3). Los ensayos de antagonismo *in vitro* para los aislados que provienen de Tabasco, Michoacán, Veracruz y Chiapas, se encuentran bajo análisis estadístico.

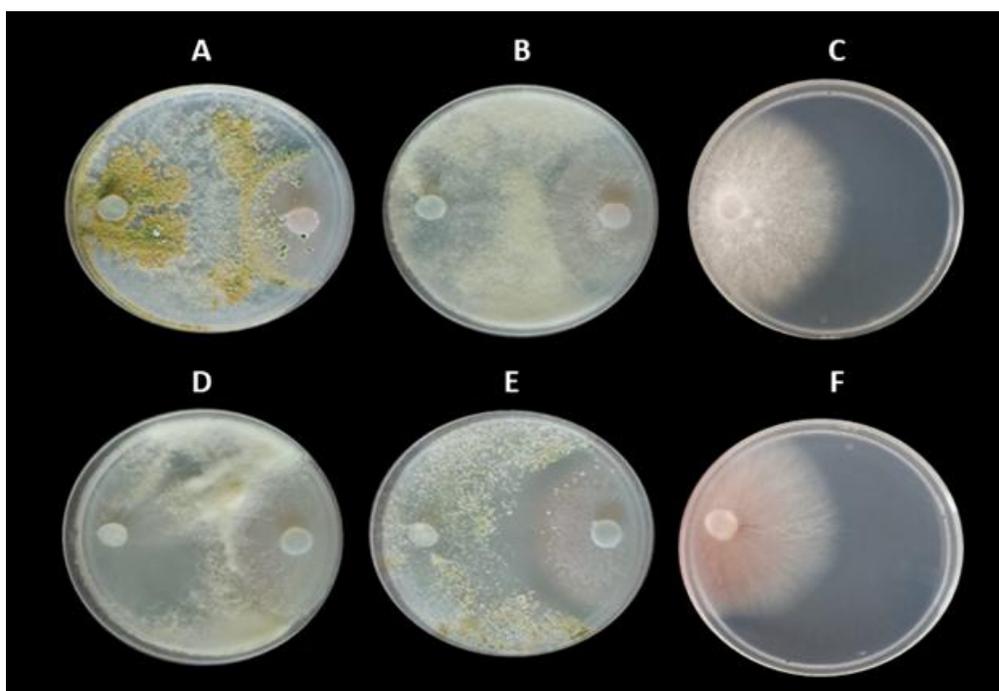


Figura 3. Efecto antagonista de aislados nativos de *Trichoderma* spp. sobre la inhibición del micelio de Foc R1 y Foc R2. De lado izquierdo de la placa de Petri se observa al fitopatógeno (Foc R1 o Foc R2) y de lado derecho, se observa al hongo antagonista evaluado. **A.** Confrontación de CHE-CNRCB 1116 x Foc R1; **B:** CHE-CNRCB 1117 x Foc R1; **C:** CHE-CNRCB 1119 x Foc R1; **D:** CHE-CNRCB 1115 x Foc R2; **E:** CHE-CNRCB 1119 x Foc R2; **F:** CHE-CNRCB 1120 x Foc R2.

Perspectivas

Aislar, identificar y caracterizar mayor cantidad de microorganismos antagonistas nativos, especialmente el antagonista *Trichoderma* spp., de las principales variedades comerciales de musáceas. Seleccionar *in vitro* e *in vivo* los aislados nativos con potencial antagonismo contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Desarrollar un protocolo de producción masiva de *Trichoderma* en diferentes sustratos, que permitan generar tecnología aplicada al campo agrícola mexicano.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio mostraron que los aislados nativos del género *Trichoderma* spp. inhibieron en diferente grado, el crecimiento micelial de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Raza 1 y Raza 2. Por tanto, esta capacidad antagónica podría contribuir a desarrollar un esquema de manejo integrado del cultivo, basado principalmente en mejorar la salud de suelo a través del uso de aislados endémicos, tanto de las razas fitopatógenicas de Foc presentes en México, como de Foc R4T, ausente en nuestro país.

REFERENCIAS

1. Bell K, Wells D, Markham R. 1982. *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology* 72:379-382.
2. Damodaran T, Rajan S, Muthukumar M, Gopal R, Yadav K, Kumar S, Jha SK. 2020. Biological management of banana Fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* tropical race 4 using antagonistic fungal isolate CSR-T-3 (*Trichoderma reesei*). *Frontiers in Microbiology* 11:595845.
3. Florencio-Anastasio JG, García-Ávila CJ, Alarcón A, Ferrera-Cerrato R, Quezada-Salinas A, Almaraz-Suárez JJ, Moreno-Velázquez M, Hernández-Ramos, L. 2022. Effectiveness of antagonistic bacteria, commercial fungicides, and fourth generation quaternary ammonium salts, against *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* race “1 or 2”. *European Journal of Plant Pathology* 163:719-731.
4. Gams W and Bissett J. 2002. Morphology and identification of *Trichoderma*. In: Kubicek CP, Harman GE (Eds.), *Trichoderma and Gliocladium: Basic Biology, Taxonomy and Genetics*. Taylor & Francis Ltd, Abingdon, OX, UK, pp. 3-34.
5. Kamala T, Devi SI, Sharma KC, Kennedy K. 2015. Phylogeny and taxonomical investigation of *Trichoderma* spp. from Indian region of Indo-Burma Biodiversity hot spot region with special reference to Manipur. *Biomed Research International* 28526:1-21.
6. Matarese F, Sarrocco S, Gruber S, Seidl-Seiboth V, Vannacci, G. 2012. Biocontrol of Fusarium Head Blight: interactions between *Trichoderma* and mycotoxigenic *Fusarium*. *Microbiology* 158: 98-106.
7. Souza-Motta CM, de Queiroz MA, dos Santos MJ, Massa DM, Nascimento JP, Laranjeira D. 2003. Identification and characterization of filamentous fungi isolated from the sunflower (*Helianthus annuus* L.) rhizosphere according to their capacity to hydrolyse inulin. *Brazilian Journal of Microbiology* 34:273-280.
8. Wang Y, Liu Z, Hao X, Wang Z, Wang Z, Liu S, Tao C, Wang D, Wang B, Shen Z., Shen Q, Li, Q. 2023. Biodiversity of the beneficial soil-borne fungi steered by *Trichoderma*-amended biofertilizers stimulates plant production. *NPJ Biofilms and Microbiomes* 9:1-9.

Biocontrol potential of endophytic strains of *Trichoderma asperellum* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, subtropical race 4

Thayne Munhoz¹; Elen Agostini¹; Jeanne S. Marinho-Prado¹; Poliana Giachetto²; Miguel Dita^{*3}

¹Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, Brazil; ²Embrapa Agricultura Digital, Campinas Brazil ³Bioversity International, Cali Colombia.

***Autor de Correspondencia:**

Miguel Dita
m.dita@cgiar.org

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Munhoz T, Agostini E,
Marinho-Prado JS,
Giachetto P and Dita M.
2024. Biocontrol potential
of endophytic strains of
Trichoderma asperellum
against *Fusarium*
oxysporum f. sp. *cubense*,
subtropical race 4.
Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):
51
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2451>

RESUMEN

En este trabajo, se aislaron 10 cepas de *Trichoderma asperellum* endofíticas de diferentes genotipos de *Musa* spp. y se evaluó su potencial de biocontrol contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc, raza 4 Subtropical), el agente causal de la marchitez por *Fusarium* del banano (MFB). Todas las cepas de *T. asperellum* mostraron potencial de biocontrol contra Foc. Las cepas YG01F, M001F y MC01F aisladas de Yamgambi No.2, *Musa acuminata* y *Musa acuminata* subsp. *malaccensis*, respectivamente, mostraron los mayores porcentajes de inhibición. Nuestros resultados sugieren una gran diversidad de *T. asperellum* endofíticos procedentes de raíces de *Musa* spp., con un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos destinados a reducir el impacto de la MFB y mejorar la productividad en el banano.

Palabras clave: Banano, Marchitez por *Fusarium*, *Trichoderma*, biocontrol, Fitosanidad.

ABSTRACT

In this work 10 endophytic *Trichoderma asperellum* strains were isolated from different banana genotypes and evaluated for its biocontrol potential against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc, subtropical race 4 -SR4) the causal agent of *Fusarium* wilt of banana (FWB). All the *T. asperellum* strains showed biocontrol potential against Foc. the strains YG01F, M001F, and MC01F from Yamgambi No.2, *Musa acuminata*, and *Musa acuminata* subsp. *malaccensis*, respectively, exhibited the highest percentages of inhibition. Our results suggest a high and multifunctional diversity of culturable endophytic *T. asperellum* from *Musa* spp. roots, with a strong potential for new product developments to reduce FWB impact and enhance productivity in banana.

Keywords: Banana, *Fusarium* wilt of banana, *Trichoderma*, biocontrol, phytosanity.



INTRODUCTION

Plants are populated with different sets of microorganisms with potential roles on host and ecosystem functions. Endophytic microorganisms colonize root tissues inter- and/or intracellularly producing a wide range of compounds useful for plants growth as well as for protection against biotic and abiotic stresses (Kavino and Manoranjitham, 2018).

Clonally propagated crops such as banana are frequently multiplied by using tissue culture techniques to get uniform and pathogen-free plants. This process, however, also eliminates the endophyte beneficial microbiota and might have plant fitness altered. *Trichoderma* spp. a multipurpose microorganism, utilizes direct antagonism and competition in the rhizosphere, colonizes plant roots (externally and/or as an endophyte), and has the capacity to promote plant growth and prime local and systemic defense responses against biotic stresses (Woo et al., 2022).

Fusarium wilt (FWB), caused by the soil-borne pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) is currently considered the major threat of the global banana production (Dita et al., 2018). The best practice to manage FWB is the use of resistant varieties. However, fully resistant cultivars to replace Cavendish or other susceptible commercial varieties are not yet available. Therefore, other management strategies such as the use of biological control agents (BCAs) are needed.

Trichoderma spp. is by far the most studied fungi for controlling FWB (Bubici et al., 2019). However, one of the drawbacks frequently raised about BCAs is the fitness of strains in field conditions and whether they can positively interact with host plants. A straightforward solution would be using BCA strains isolated from the target crop and environmental conditions. In this work, we screened different banana genotypes, isolated, identified and evaluated de biocontrol potential against Foc of 10 endophytic strains of *T. asperellum*.

MATERIAL AND METHODS

Isolation of endophytic *Trichoderma* spp. Samples from roots of 10 *Musa* spp. genotypes were processed using the protocol described by Pocasangre and Sikora (2000). Primary roots were split into two longitudinal sections and placed in a 2% sodium hypochlorite solution for three minutes, then washed with sterile tap water three times (3 min each) and split once into two longitudinal sections. Root sections were

placed on autoclaved paper towels to remove excess water and the outer layer of the root was peeled off with a scalpel. Internal roots tissues were cut into small pieces of approximately 1 to 1.5 cm length and placed on Petri's dishes with Potato Dextrose Agar of 10% strength supplemented with 0.3 g streptomycin. The plates were incubated at 27 °C in the dark and after eight days colonies visually resembling *Trichoderma* spp. were sub-cultured to new plates for purification.

Identification of *Trichoderma* spp. DNA from colonies morphologically identified as *Trichoderma* spp. was extracted (Qiagen) and analyzed by sequencing the elongation factor (Tefa-1 α) gene (O'Donnell et al., 1998) and the Internal Transcribed Spacer (ITS) region (White et al., 1990). PCR products were confirmed by electrophoresis on agarose gel of 0.8%. Sequencing was performed at MACROGEN using purified PCR products at a concentration of 50 ng μ l⁻¹. Sequencing products were compared to DNA databanks (NCBI) using the Blast (n) tool.

Antagonisms assays. Antagonisms assays were carried using a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* subtropical race 4 strain (VR039) isolated from Cavendish (AAA) banana located in the Ribeira Valle and previously characterized as VCG120. Screening for antagonistic activity against Foc was carried out using dual culture method described by Xianmei Yu et al. (2011). Sterile 90 mm Petri's dishes containing PDA were inoculated with each *T. asperellum* and cultivated next to the Foc strain. The mycelia plug (5 mm in diameter) taken from ten days old actively growing colonies of Foc was placed three days before the *Trichoderma* strains. Plates with pure cultures of either Foc or *Trichoderma* strains were used as controls. All plates were incubated under controlled conditions at 27 °C. Evaluations started at seven days after the assay setup, at which point the *Trichoerma* spp. control treatments covered the entire plate. The evaluation involved measuring the colony diameter and the antibiotic halo. At 21 days after the assay setup the occurrence or absence of mycoparasitism was evaluated using a scale of 0-3, where 3 represents the highest level of mycoparasitism (0 - no parasitism; 1: 1% -25%; 2: 26%-50%; 3: >50%). The percentage of inhibition of radial growth (PIRG) was measured by the formula: $PIRG = (A-B/A) \times 100$, where A corresponds to the radial growth of the control pathogen plates and B the radial growth of the pathogen in coculture. The experimental design was completely randomized with three repetitions by treatments and control. The data underwent analysis of variance, and the means were compared (Tukey ≤ 0.05).

RESULTADS AND DISCUSSION

Trichoderma species were successfully isolated from all studied *Musa* spp. genotypes. In addition to *T. asperellum*, other species like *T. konigiopsis* and *T. spirale* were also identified (Data not shown). However, *T. asperellum* was the predominant species. For this study, one *T. asperellum* strain was selected per *Musa* genotype (Table 1). Further analysis are currently undergoing for the remaining isolates of *Trichoderma* spp.

Even when inoculated on plates three days after Foc, all *T. asperellum* isolates demonstrated the ability to inhibit the Foc (VR039). Although there was no statistical difference, variation was observed (Table 1, Figure 1). Notably, the strains YG01F, M001F, and MC01F from Yamgambi No.2, *Musa acuminata*, and *Musa acuminata* subsp. *malaccensis*, respectively, exhibited the highest percentages of inhibition (Table 1). All isolates demonstrated the capability to mycoparasitize Foc, but variations were observed. Two isolates exhibited grade 1 mycoparasitism (up to 25% pathogen colonization), three isolates presented grade 2 mycoparasitism (26% to 50% pathogen colonization), while the remaining five isolates demonstrated grade 3 mycoparasitism (more than 50% pathogen colonization).

Table 1. List of *Trichoderma asperellum* strains and their behavior against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

Code	Genotype	Genome	Growth inhibition of Foc (%)	Mycoparasitism (Scale 0-3)
B001F	<i>Musa balbisiana</i>	BB	30	1
M001F	<i>Musa acuminata</i>	AA	38	2
MC01F	<i>Musa malaccensis</i>	AA	37	3
OR002F	<i>Musa ornata royal</i>	*	33	3
PB002F	Pisang Bungai	AA	35	2
PCV01F	Pacovan	AAB	36	2
PJB01F	Pisang Jaru Buaya	AA	36	3
PS029F	Pisang Seribu	AAB	30	1
SB01F	Saba	ABB	35	3
YG01F	Yamgambi Km2	AAB	43	3

*Wild specie with unknown genome

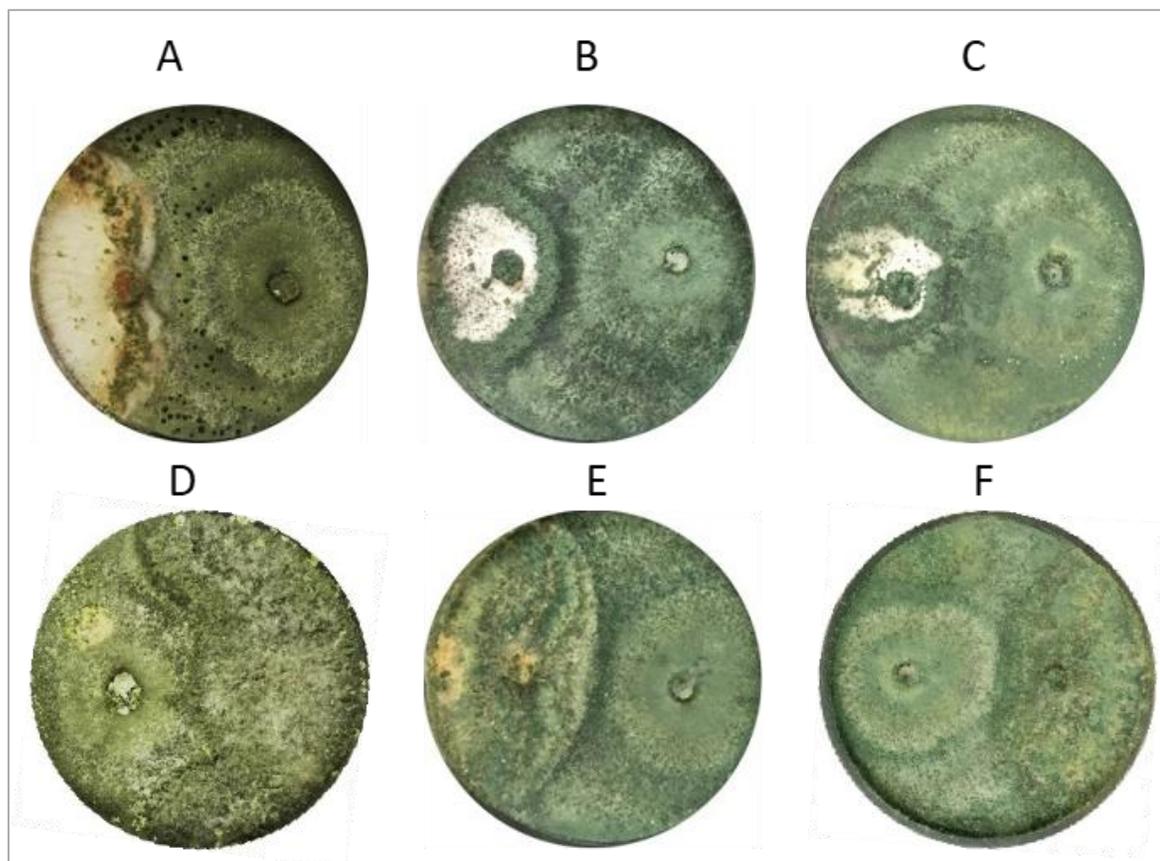


Figure 1. General overview of growth inhibition and mycoparasitism caused by *Trichoderma asperellum* strains on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* at 21 days after co-inoculation. **A:** B001F. **B:** PCV01F. **C:** M001F. **D:** MC01F. **E:** PJB01F. **F:** YG001F.

CONCLUSION

All *Trichoderma* strains assessed showed antagonism and mycoparasitism capacity against Foc by restricting its radial growth expansion of the pathogen and colonizing the surface of mycelial Foc and subsequently sporulating on it. Considering both PIGR and mycoparasitism levels, isolates YG01F and M001F could be considered, in a preliminary assessment, as more promising BCAs. Further studies at greenhouse and field levels are undergoing to validate the biocontrol potential against FWB of these *T. asperellum* strains.

REFERENCIAS

1. Bubici G, Kaushal M, Prigigallo MI, Gómez-Lama Cabanás C, Mercado-Blanco J. 2019. Biological Control Agents Against Fusarium Wilt of Banana. *Front. Microbiol.* 10:616. doi: 10.3389/fmicb.2019.00616.
2. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E.S.G. and Staver, C.P. (2018). Fusarium Wilt of Banana: Current Knowledge on Epidemiology and Research Needs Toward Sustainable Disease Management. *Front. Plant Sci.* 9:1468. doi: 10.3389/fpls.2018.01468.
3. Kavino, M., Manoranjitham, S. K. 2018. In vitro bacterization of banana (*Musa* spp.) with native endophytic and rhizospheric bacterial isolates: novel ways to combat Fusarium wilt. *Eur. J. Plant Pathol.* 151, 371–387. doi: 10.1007/s10658-017-1379-2.
4. Nuangmek W.W. 2008. Endophytic fungi from wild banana (*Musa acuminata* colla) works against anthracnose disease caused by *Colletotrichum musae*. *Research Journal of Microbiology.* 3(5):368; 368,374; 37.
5. O'Donnell K, Kistler HC, Cigelnik E, Ploetz RC. 1998. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 95(5):2044-9.
6. Pocasangre L, Sikora R, Vilich V, Schuster R. 1999. Survey of banana endophytic fungi from central america and screening for biological control of radopholus similis. II ISHS conference on fruit production in the tropics and subtropics. 531
7. White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications.* 18:315-22. *PCR Protocols* (pp.315-322).
8. Woo, S.L., Hermosa, R., Lorito, M., Monte, E. 2022. Trichoderma: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Rev. Microbiol.* doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5.
9. Yu XX. The siderophore-producing bacterium, bacillus subtilis CAS15, has a biocontrol effect on fusarium wilt and promotes the growth of pepper. 2011. *Eur J Soil Biol.* 2011;47(2):138; 138,145; 145.

Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma* spp. contra *Fusarium oxysporum* causante de marchitez en plátano (AAB)

Claudia Jiménez Pérez^{1*}; Elba Vallejo¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) – Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (CENIAP). Maracay, Venezuela.

*Autor de

Correspondencia:

Claudia Jiménez Pérez
clauji14@hotmail.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Jiménez PC y Vallejo E.
2024. Antagonismo *in vitro*
de *Trichoderma* spp. contra
Fusarium oxysporum
causante de marchitez en
plátano (AAB).
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
52
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2452](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2452)

RESUMEN

Se evaluó la capacidad antagonista de *Trichoderma* spp. provenientes de diferentes zonas de Venezuela contra FOCR4T aislada de plátano proveniente del estado Aragua. Se realizaron pruebas de enfrentamiento *in vitro*, el ensayo de estableció bajo un diseño completamente aleatorizado con 8 tratamientos y 3 repeticiones. Se incubó a 27-28 °C, por 7 días a oscuridad continua. Se evaluó porcentaje de inhibición de crecimiento (PIC) y porcentaje de inhibición de esporulación (PIE). Como resultado se obtuvo que el rango de PIC entre tratamiento 56,1 – 63,60 % y PIE 70 – 92,8%, sin diferencias significativa entre tratamientos. *Trichoderma* spp. deben ser evaluados en invernadero y campo para definir efectividad y aplicabilidad.

Palabras clave: musáceas, control biológico, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza Tropical 4, Fitosanidad.

INTRODUCCIÓN

El plátano es el frutal de mayor importancia en Venezuela. Además, considerado un cultivo tradicional debido a su adaptabilidad a los distintos agroecosistemas a lo largo del territorio nacional. La producción de cultivo está presente en de la zona de Sur del Lago de Maracaibo; estados Zulia, Trujillo, Mérida y Táchira, representando aproximadamente el 70 % de la producción total nacional. La zona norte-oriental del estado Yaracuy, también presenta condiciones ideales para el cultivo, asimismo en los estados Barinas, Portuguesa, Apure, Guárico, Monagas, Bolívar, Delta Amacuro, La Guaira (Martínez, et al 2020) y actualmente en el estado Aragua en los municipios Mariño, Zamora, José Ángel Lamas (observaciones realizadas por los autores).

El plátano es la fruta que más se produce en el país seguida por el cambur, su producción para el 2019 fue de 750170 tn y para el 2021 664095 tn (FAO 2023), con un consumo per capita para el año 2014 de 52,28gr/día (INE 2023). El plátano en



Venezuela está sembrado como monocultivo perenne a bajas densidades o en asociaciones con cultivos como café y cacao. El clon más utilizado es ‘Hartón gigante’ (Musa AAB, Subgrupo plátano), y representa un aspecto importante en la economía de pequeños productores (Martínez et al. 2020).

Por otra parte, el estado Aragua contribuye con la mayor producción de banano Cavendish, conformando el eje bananero de mayor importancia en la región central de Venezuela). La producción de este cultivo presenta limitaciones fitosanitarias, entre ellas: el Moko (*Ralstonia solanacearum*), Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y marchitez por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) (Foc R4T) (Martínez et al. 2020), considerada entre las enfermedades más letales en la historia de la agricultura (Dita et al., 2010). De esta última enfermedad, recientemente fueron reportadas evidencias científicas de la presencia de Foc R4T en banano en estado Aragua, Carabobo y Cojedes (Mejías et al. 2023) y en plátano en el municipio José Ángel Lamas de estado Aragua (Jiménez et al. 2023 por publicar).

Debido los problemas fitosanitarios que se presenta en el estado Aragua en banano y plátano, el objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de *Trichoderma* spp para inhibir el crecimiento y esporulación In vitro de FOCCR4T, aislados de plantación de plátano Hartón Gigante ubicada en el municipio José Ángel Lamas del estado Aragua Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se visitó la unidad de producción ubicada en el Sector el Mahomo II, Santa Cruz, Municipio José Ángel Lamas, estado Aragua Venezuela con una plantación de con las siguientes características de 2000 plantas de plátano ‘Hartón’ con síntomas característicos a los causados por FOCCR4T. De esta plantación se tomaron muestras vegetales. Así mismo, se tomaron muestra suelo en diferentes municipios del estado Aragua: de un lote de terreno que estuvo sembrado con cambur Cavendish, el cual fue eliminado por la presencia de síntomas de marchitez y lleva 4 años en barbecho ubicado municipio José Lamas. Otras muestras en los municipios Zamora, Girardot y por último en el estado Mérida.

Procesamiento de muestra vegetal

Se tomaron muestras vegetales de pseudotallo con síntomas de necrosis a lo largo de los haces vasculares de color vinotinto-rojizo, fueron llevadas al laboratorio de INIA-CENIAP. Se tomaron trozos de tejido y fueron desinfectados con hipoclorito de

sodio al 1% por 1 minuto, luego se realizaron 3 lavados con agua destilada estéril (ADE), se eliminó exceso de ADE con papel absorbente estéril. Posteriormente, en una cámara de flujo laminar se procedió a la siembra de tejido vegetal de 5-10 mm en medio de cultivo Papa dextrosa agar acidificado más antibiótico (PDAA + Sulfato de Streptomina). Luego estas cajas se incubaron a 27-28 °C por 4-5 días+/-, seguidamente se purificaron las colonias y se realizaron cultivos monosporicos para la identificación del patógeno por características culturales de la colonia y características macros y microscópicas y se compararon con el manual específico para *Fusarium*.

Procesamiento de muestra de suelo

Para el aislamiento de posibles antagonistas, se preparó una solución madre con 10 gramo de suelo y 90 mL de agua destilada estéril (ADE), posteriormente se realizaron diluciones seriadas hasta 10^{-6} ; se tomó 1 mL de la solución madre y se colocó en un tubo con 9 mL ADE para obtener dilución 10^{-1} , este procedimiento se repitió hasta llegar a 10^{-6} . Se incubaron por 3-4 días, pasado ese tiempo e seleccionaron colonias de color verde y se procedió a su identificación a través del montaje en lámina y el uso de las claves taxonómicas para el género *Trichoderma*.

Pruebas de enfrentamiento in vitro entre *Fusarium* y *Trichoderma*

Para medir la capacidad antagonica de *Trichoderma* spp, se evaluó la competencia por nutrientes y espacio del aislamiento; para ello se realizaron pruebas de enfrentamientos y se realizó mediciones de crecimiento de diámetro de la colonia de los hongos a las 48, 72, 96 o hasta se unieran las dos colonias. Al finalizar la evaluación del crecimiento de ambos hongos, se midió la esporulación del patógeno utilizando un Hematocimetro.

Para realizar enfrenamiento entre FOC y *Trichoderma* se utilizó la técnica de cultivo dual, la cual consiste en una caja petri de 9cm con PDAA + antibiótico (Sulfato de streptomina), se colocaron en un extremo un disco de 5cm con micelio de FOC y en el otro extremo un disco con micelio del antagonista (*Trichoderma* sp.). Como testigos se colocaron en cajas de Petri FOC en un extremo sin *Trichoderma* sp. Posteriormente, los cultivos se incubaron a 27 °C 7 días o hasta el contacto físico de antagonista y patógeno.

Con los datos de crecimiento del patógeno y antagonista se calculó el Porcentaje de Inhibición del Crecimiento (PIC) utilizando la siguiente fórmula $PIC = (D1 - D2)/D1 \times 100$, donde D1 es el diámetro de la colonia patógeno testigo y R2 es el diámetro menor del patógeno enfrentados. Para calcular el Porcentaje de Inhibición de

Esporulación (PIE) se utilizó fórmula $PIC = (E1 - E2)/E1 \times 100$, donde E1 es el esporulación de la colonia patógeno testigo y esporulación menor del patógeno enfrentados; formulas propuesta por Suárez, et al., (2008);

$$P_{Inhibición(\%)} = \frac{D.C.C - D.C.P}{D.C.C} \times 100$$

Dónde:

D.C.C = Diámetro de la colonia testigo patógeno.

D.C.P = Diámetro de la colonia patógeno con antagonista

En este ensayo se estableció bajo un diseño de experimento Completamente Aleatorizado con 8 tratamientos: 7 aislamientos de *Trichoderma* spp., contra uno de FOC más un testigo (Foc sin *Trichoderma* spp.), con tres repeticiones. Los datos tanto PIC como PIE, fueron analizados a través de un ANAVA y una comparación de medias de Tukey, a través del programa estadístico Infostad.

Identificación del patógeno

Para la identificación del patógeno por técnicas convencional se utilizaron cultivos monosporicos para la identificación del patógeno por características culturales de la colonia y características macros y microscópicas y se compararon con el manual para *Fusarium*. Para el diagnóstico molecular FOC, se realizó la extracción de ADN de tejido vegetal con síntomas siguiendo protocolo de extracción del Kit de QGEN, junto con la técnica de Reacción de Cadena de la Polimerasa (PCR) en punto final, utilizando los cebadores específicos descrito por de Li *et al.* 2013 y Dita *et al.* 2010. En estas pruebas se incluyeron controles para dar confiabilidad al diagnóstico tales como: Control positivo + :ADN FOC R4t Colombia, Control Negativo – absoluto: Mix PCR+ agua, Control de negativo: Mix +ADN de musáceas (planta sana), Control de la reacción: Mix + ADN distinto musáceas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación del patógeno

Sintomatología. En una plantación de plátano ‘Hartón Gigante’ ubicada en la unidad de producción ubicada en el Sector el Mahomo II, Santa Cruz, Municipio José Ángel Lamas, estado Aragua Venezuela, se encontraron plantas presentado síntomas externos: inicio de amarillamiento en las hojas más viejas en la base del peciolo que se extiende por el borde de la hoja. Amarillamiento de las hojas más viejas hacia la más joven y posterior muerte de hojas, quedando colgadas en la planta como falda (síndrome de la hoja amarilla). Recortamiento de entrenudos, en algunos casos rajaduras en el pseudotallo, el síndrome de hoja verde; las hojas más viejas permanecen verdes

hasta que los peciolos se doblan y quedan colgando como una falda. Síntomas internos: de un corte longitudinal del pseudotallo: necrosis a lo largo de los haces vasculares de color vinotinto-rojizo, corte transversal puntos discontinuos color vinotinto-rojizo. En corte transversal de cormos infectados se observaron bandas de color marrón oscuro o negro en forma de media luna alrededor de tallo floral.

Al comparar la sintomatología encontrada en plantaciones de plátano en esta investigación y la reportada por la literatura, coinciden en lo señalado por Pérez-Vicente et al. (2014), quienes mencionan que la marchitez por fusarium y/o mal de Panamá en banano, causan síntomas típicos o clásicos como síndrome de hoja amarilla y síndrome de hoja verde. Además, dentro de los síntomas externos más característicos de la marchitez en banano causada por FOCR4T están; clorosis y amarillamiento de las hojas más viejas. Este amarillamiento por lo general inicia por el borde de la hoja y rajadura del pseudotallo. Cuando se hizo corte longitudinal del pseudotallo, se observaron lesiones rojizas a marrón en los haces vasculares.

Identificación del patógeno por técnicas convencionales. Del análisis de plantas con los síntomas de enfermedad, se aisló un hongo y se identificó por sus características morfológicas (tamaño y forma de conidios, macroconidios, conidiogoros y clamidosporias), y características culturales de la colonia (tasa de crecimiento y pigmentación) a *Fusarium oxysporum* sp f. *cubense*.

Identificación molecular del patógeno. Se evidencio la presencia de bandas de pesos moleculares 463 pb y 456pb, respectivamente que coinciden con los reportadas y descritas por y Dita et al. (2010) (superior) y Li et al. (2013) (inferior), dichas ampliaciones corresponden a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical raza 4 (Foc TR4). Estos resultados coinciden con Mejías et al. 2023 en cuanto a la presencia la FOCR4T en banano en Venezuela.

Aislamiento del antagonista *Trichoderma* spp.

De las muestras de suelo se lograron aislar 7 cepas de *Trichoderma* spp.; una de Mérida y 6 de Aragua (cuadro 1). Todas identificadas por las características morfológicas del hongo, estructuras reproductivas; micelio, conidióforos, conidios observadas al microscopio y por las características culturales de la colonia, utilizando las claves taxonómicas para el género *Trichoderma*.

Cuadro 1. Codificación de cepas de *Trichoderma* spp. y procedencia.

	Código	Procedencia
1	AGCTA	Estado Aragua - Girardot
2	AGTPA	Estado Aragua - Girardot
3	AGCT5	Estado Aragua - Girardot
4	AZPICU	Estado Aragua - Zamora
5	AZ27	Estado Aragua - Zamora
6	AL43	Estado Aragua – José Ángel Lamas
7	MLTLB	Estado Mérida

Enfrentamiento *in vitro* entre *Fusarium* y *Trichoderma*

Los aislamientos de *Trichoderma* spp. provienen de diferentes zonas del país, estos mostraron PIC entre 56,1 – 63,60 y PIE entre 70 – 92,8%. Según el análisis estadístico, se encontró que no hubo diferencias significativas entre tratamiento en ninguna de las variables evaluadas: PIC y PIE (Cuadro 2). Resultados parecidos a los encontrados en esta investigación están los de Taribuka et al. (2017), donde evaluaron cepas endófitas de *Trichoderma* spp. frente a *Fusarium oxysporum* mostrando PIC entre 49.67 y 60.61% concluyendo que no todas las cepas de *Trichoderma* son capaces de inhibir de la misma y por eso se obtienen diferentes porcentajes. Por su parte Bubici et. al. (2019), menciona que el género *Trichoderma* tiene varios mecanismos de acción; antibiosis, competencia por espacio y nutrientes, micoparasitismo frente a diferentes hongos fitopatógenos e inducen la resistencia de la planta. Género que resulta ser de los antagonistas con mayores habilidades biocontrolador de enfermedades de planta.

Cuadro 2. Porcentaje de inhibición (PIC) y Porcentaje de Inhibición de Esporulación (PIE) de FocR4T ante la presencia de aislamientos de *Trichoderma* spp. provienen de diferentes zonas del país.

Nº	TRATAMIENTOS	PIC	PIE
1	MIIPxAGCTA	56,05 b	69,93 b
2	MIIPxMLTLB	62,27 b	79,84 b
3	MIIPxAGT5	63,60 b	88,85 b
4	MIIPxAGTPA	56,95 b	80,52 b
5	MIIPxAZ27	58,72 b	92,80 b
6	MIIPxAZPICU	59,25 b	85,25 b
7	MIIPxAL43	57,17 b	92,45 b
8	TESTIGO	0 a	0 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). CV PIC=12,77. CV PIE=10,60

CONCLUSIONES

La presente investigación muestra a 7 cepas de *Trichoderma* spp. con la capacidad de inhibir el crecimiento entre (PIC) 56,05 – 63,60 e inhibir la esporulación (PIE) entre 69,93 – 92,8% sobre FOCR4T aislado de plátano

REFERENCIAS

1. Bubici, G., Kausahl, M., Prodigallo, M., Gómez, C. y Blanco J. 2019. Agentes de control biológico contra la marchitez por *Fusarium* del banano. *Fronteras en Microbiología*, 10. DOI: 10.3389/fmicb.2019.00616
2. Dita, M.A., Waalwijk, C., Buddenhagen, I.W., Souza, M.T. and Kema, G.H.J. 2010. A molecular diagnosis for tropical race 4 of the banana *Fusarium* wilt pathogen. *Plant Pathology* 59: 348–357.
3. FAOSTAT. 2021. Estadísticas producción de plátano. <http://www.fao.org/faostat/es/> (consulta de junio 27, 2023).
4. INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2014. Encuesta de Seguimiento al Consumo de Alimentos. Venezuela. Disponible en [www.\[Consultado: junio 27 2023\].](http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&id=740&Itemid=38;tmpl=component)
http://www.ine.gov.ve/index.php?option=com_content&id=740&Itemid=38;tmpl=component.
5. Li CY; Mostert G; Zuo CW; Beukes I; Yang QS; Sheng O; Kuang RB; Wei YR; Hu CH; Rose L; Karangwa P; Yang J; Deng GM; Liu SW; Gao J; Viljoen A; Yi GJ. 2013. Diversity and distribution of the banana wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense in China. *Fungal Genom Biol*, 3:111. <http://doi.org/10.4172/2165-8056.1000111>
6. Martínez-Solorzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Rodríguez, D., Jiménez, C., Rodríguez, Y., Rumbos, R., Pargas-Pichardo, R. E., Manzanilla, E. y Martínez, E. 2020. Análisis de la situación fitopatológica actual de las musáceas comestibles en Venezuela. *Agronomía Tropical* 70:1-20.
7. Mejías, R., Y. Hernández, F. Magdama, D. Mostert, S. Bothma, E. Paredes, D. Terán, E. González, R. Angulo, L. Angel, Y. Rodríguez, R. Ortega, A. Viljoen, E. Marys, Pérez-Vicente, L.; Dita, M.A.; Martínez de la Parte, E. 2014. Technical Manual for Prevention and diagnostic of *Fusarium* Wilt (Panama disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4 (TR4). Prepared for the Regional Workshop on the Diagnosis of *Fusarium* Wilt (Panama disease) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4: Mitigating the Threat and Preventing its Spread in the Caribbean.
8. Pérez-Vicente, L., M. Dita, E. Martínez-de la Parte. 2014. Technical Manual Prevention and diagnostic of *Fusarium* Wilt(Panama Disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4(TR4). https://www.researchgate.net/publication/273632807_Technical_Manual_Prevention_and_diagnostic_of_Fusarium_WiltPanama_Disease_of_banana_caused_by_Fusarium_oxysporum_f_sp_cubense_Tropical_Race_4TR4.

9. Suárez, M., Carol, L., Fernández B., Reinel JV., Nelson, O, Gámez C., Rocío M., Páez R., Alberto R., (2008). Antagonismo in vitro de *Trichoderma harzianum* Rifai sobre *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., asociado a la marchitez en maracuyá. *Revista Colombiana de Biotecnología*, X (2) ,35-43.
10. Taribuka, J., Wibowo, A., Widyastuti, S. y Sumardiyono, C. (2017). Potencial de seis aislados endófitos de *Trichoderma* como agentes de biocontrol contra el marchitamiento por *Fusarium* en el banano. *Revista de gestión de terrenos degradados y mineros*, 4 (2). DOI:10.15243/jdmlm.2017.042.723

Bioprospección de especies nativas de *Trichoderma*, como agente biocontrolador de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Raza 4 Tropical (FocR4T)

Jessica Rodríguez Escobar¹; Catherine Rodríguez Mogollon²; Monica Betancourt Vásquez³; Aslenis Melo Ríos²; Gustavo Adolfo Rodríguez Yzquierdo³

¹CI Tecnicas Baltime de Colombia S.A “Tebaco”. ²Universidad Popular del Cesar. ³Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria- Agrosavia.

*Autor de

Correspondencia:

Jessica Rodríguez Escobar
jrodriguez1@tebaco.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Rodríguez EJ, Rodríguez MC, Betancourt VM, Melo RA y Rodríguez YGA. 2024. Bioprospección de especies nativas de *Trichoderma*, como agente biocontrolador de *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* Raza 4 Tropical (FocR4T). *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 53
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2453>

RESUMEN

Establecer estrategias de manejo biológicas que permitan reducir y mitigar la marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc) raza 4 tropical en banano, ha sido uno de los temas de interés para la industria de banano y comunidad científica, en Colombia la presencia de este patógeno devastador se confirmó en 2019 en plantaciones de la Guajira, por tanto para obtener aislados nativos de *Trichoderma*, se tomaron 250 muestras de suelo rizosférico y se sembraron en medio PDA, en total se obtuvieron 20 aislados de *Trichoderma*, de los cuales seis aislados (Th1, Th2, Th3, Th4, Th5, Th6) se evaluaron mediante la técnica de enfrentamiento doble frente a *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* (Foc) raza 1, encontrando diferencias estadísticas entre los aislados siendo Th2 y Th4 los que presentaron mayor porcentaje de inhibición del patógeno 93,6% y 92,3 % respectivamente, a partir de esta prueba seleccionaron los cuatro aislados de *Trichoderma* que presentaron porcentajes de inhibición de FocR1 superiores al 87% (Th1, Th2, Th4, Th6) para evaluar mediante prueba de enfrentamiento doble con *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raza 4 tropical (Foc R4T), obteniendo porcentajes de inhibición de superiores al 80%, a estos aislados se les realizó ANOVA y Tukey, encontrando diferencias significativas entre los aislados, estos cuatro aislados fueron caracterizados molecularmente encontrándose 98,78% a 100 % de similitud con *T. asperellum*, así mismo los cuatro aislados fueron sometidos a fermentación sólida y evaluación de viabilidad (germinación y concentración de conidios) en el tiempo, los resultados de esta prueba fueron sometidos a análisis de regresión lineal múltiple, encontrando que existe una fuerte correlación de los días después del almacenamiento (DDA) y el % de germinación, además con el desarrollo de esta investigación se logró registro ICA como productor del bioinsumo *T. asperellum* para uso agrícola.

Palabras clave: *Trichoderma*, actividad antagónica, *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* R4T, inhibición, germinación, Fitosanidad.

ABSTRACT

Establish biological management strategies to reduce and mitigate wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc) tropical race 4 in bananas, has been one of the topics of interest



for the banana industry and scientific community, in Colombia the presence of this devastating pathogen is granted in 2019 in plantations of La Guajira, therefore to obtain isolates native *Trichoderma*, 250 rhizospheric soil samples were taken and planted in PDA medium, a total of 20 *Trichoderma* isolates were acquired, of which six isolates (Th1, Th2, Th3, Th4, Th5, Th6) were evaluated using the technique double challenge against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) race 1, finding statistical differences between the isolates, being Th2 and Th4 those that appeared the highest percentage of inhibition of the pathogen 93.6% and 92.3% respectively, from this test they selected the four *Trichoderma* isolates that appeared FocR1 inhibition percentages greater than 87% (Th1, Th2, Th4, Th6) to be evaluated by double challenge test with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (Foc R4T), obtaining inhibition percentages higher than 80%, ANOVA and Tukey were performed on these isolates, finding significant differences between the isolates, these four isolates were molecularly characterized, finding 98.78% to 100% of similarity with *T. asperellum*, likewise the four isolates were subjected to solid fermentation and viability evaluation (germination and concentration of conidia) over time, the results of this test were subjected to multiple linear regression analysis, finding that there is a strong connections of the days after storage (DDA) and the germination %, in addition with the development of this research the ICA registry as a producer of the bio-input *T. asperellum* for agricultural use will be respected

Keywords: *Trichodema*, antagonistic activity, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* TR4, phytosanitary.

INTRODUCCIÓN

El banano se encuentra dentro de las frutas más se consume a nivel mundial, y junto al plátano, son el alimento básico de aproximadamente 400 millones de personas a nivel mundial (Dita et al., 2018), el área sembrada de banano se ha incrementado cada año, y para el 2070 se espera un incremento del 50 % del área sembrada, en los países tropicales y subtropicales (Bubici et al., 2019). Colombia se encuentra dentro de los diez países productores de banano a nivel mundial, siendo fundamental para la economía del país la industria (Rodriguez et al., 2023). Sin embargo, este cultivo se encuentra amenazado por diversos problemas fitosanitarios como, Sigatoka negra, Moko y Marchitez ocasionada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical (Foc R4T) (Dita et al., 2018). En Colombia fue reportado por primera vez en 2019 (Garcia et al., 2019) y la llegada de *Foc* R4T, al continente americano, activo las alarmas no solo en Colombia, donde la enfermedad aún se considera cuarentenaria y distribución restringida, sino a nivel regional, ya que se encuentran siete de los 10 principales países exportadores de banano. (Izquierdo et al., 2021)

Esta enfermedad se encuentra clasificada dentro de las diez enfermedades vegetales más importantes en la historia de la agricultura, así como la más letal del cultivo de banano, ya que no existe control químico eficiente, y el hongo genera estructuras de resistencia (clamidosporas) que pueden permanecer en el suelo durante muchos años (Dita et al., 2018).

Dentro de las estrategias de manejo de la marchitez en banano se plantea el uso de agentes biocontroladores (Prigigallo et al., 2022). *Trichoderma* se encuentra dentro de los agentes biocontroladores más exitosos en la agricultura, y de mayor uso, debido a que forma parte de más del 60% de los insumos biológicos registrados y se puede encontrar en el mercado como biofungicida (controlador de hongos fitopatógenos) o bioestimulante (puede promover el crecimiento vegetal por la producción de auxinas y ácidos orgánicos que favorecen la solubilización de nutrientes). (Bader et al 2020) así mismo algunas especies de *Trichoderma* han sido reportadas como, útiles para contrarrestar el efecto de *Foc* R4T (Rahman et al., 2021), El presente estudio tiene como objeto, seleccionar especies nativas de *Trichoderma* que sean eficientes en el control de patógenos como *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense* raza 4 tropical (*Foc*R4T), mediante su aislamiento, identificación, prueba de antagonismo vitro, caracterización molecular y capacidad de escalonamiento para producción comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la determinación de la capacidad antagónica de especies de *Trichoderma* sobre *Foc* raza 1 y *Foc* R4T, se realizaron muestreos de campo para la obtención de cepas nativas de *Trichoderma* a partir de muestras de suelo rizosférico fincas de banano ubicadas en departamento del Magdalena, se colectaron 250 muestras y se seleccionaron 6 aislados de *Trichoderma* para las pruebas de antagonismo

Aislamiento de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 1 y Raza 4 Tropical (*Foc* R4T). Para las pruebas de antagonismo en condiciones *in vitro* se emplearon aislamientos de *Fusarium oxysporum* f. sp *cubense* raza 1 y raza 4 tropical (*Foc* R4T) perteneciente al banco de hongos de AGROSAVIA CI Tibaitatá.

Determinación de la capacidad antagónica de las especies de *Trichoderma* aisladas Frente a *Fusarium oxysporum* sp. *cubense* en condiciones *in vitro*. La prueba de antagonismo frente a *Fusarium oxysporum* raza 1, se realizó en el laboratorio de insumos de CI Técnicas Baltime. En esta prueba se evaluaron seis aislados de *Trichoderma* (Th1, Th2, Th3, Th4, Th5 y Th6).

El montaje de la prueba frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4, se realizó en el laboratorio de patógenos cuarentenarios de CI AGROSAVIA, Tibaitatá, y para esta prueba se evaluaron los aislados de *Trichoderma* que presentaron porcentaje de inhibición superior al 87% frente a *Fusarium oxysporum* raza 1. Para ambas pruebas se siguió la metodología de Izquierdo et al 2020, que consiste en pruebas de doble enfrentamiento, donde el patógeno se coloca en el centro y el biocontrolador en los dos extremos, Se realizaron cinco repeticiones con 5 réplicas por tratamiento, para un total de 25 cajas por tratamiento. Para calcular el porcentaje de inhibición del crecimiento del patógeno se empleó la fórmula de Singh et al 2009.

$$PI = \frac{[(a - b)]}{a} * 100$$

Donde,

PI= Porcentaje de inhibición de crecimiento diametral

a = crecimiento diametral de la colonia del patógeno en el control

b = crecimiento diametral de la colonia del patógeno expuesto al tratamiento del agente de control biológico.

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el paquete R, realizando comparación de medias de porcentaje de inhibición de micelio obtenido en cada tratamiento mediante ANOVA unidireccional y prueba Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Siete días después del montaje de la prueba se realizó la medición del crecimiento de las cepas empleando un calibrador pie de rey; encontrándose porcentaje de inhibición entre 83 y 93 % frente a FocR1, siendo los aislados Th2 y Th4 los de mejor inhibición con valores de 93,6% y 92,3% respectivamente. Por su parte, el aislado Th5 presentó el porcentaje de inhibición más bajo con 83,2%, como se observa en la Figura 1. Los datos experimentales se analizaron estadísticamente (Cuadro 1).

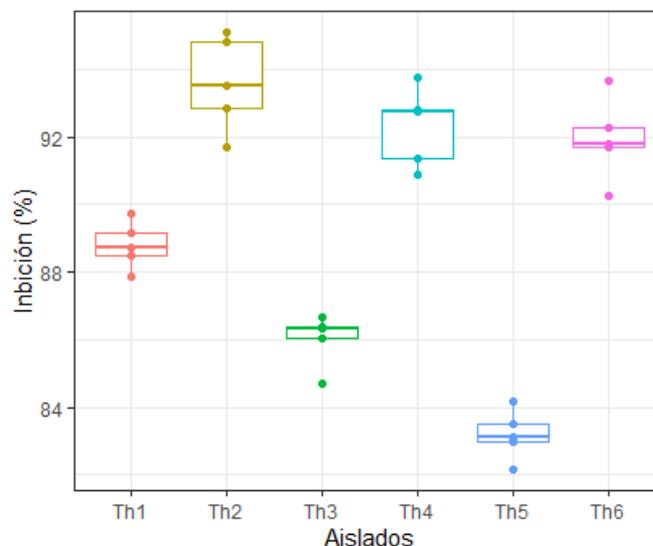


Figura 1. Efecto antagonístico de diferentes aislados nativos de *Trichoderma* spp. sobre *Fusarium oxysporum* raza 1, *in vitro*.

Cuadro 1. Análisis de varianza del porcentaje de inhibición de seis aislados de *Trichoderma* frente a *Fusarium oxysporum* raza 1.

	Df	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)
Aislados	5	413,5	82,71	76,83	5,7E-14 ***
Residuals	24	25,8	1,08		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Siendo p-value < 0,05, se rechaza la hipótesis nula, indicando que existen diferencias significativas en el porcentaje de inhibición de los aislados de *Trichoderma* frente a Foc Raza 1. Así mismo la prueba post-hoc de Tukey (Figura 2), permite observar las diferencias de las medias estadísticas mediante el agrupamiento de los tratamientos.

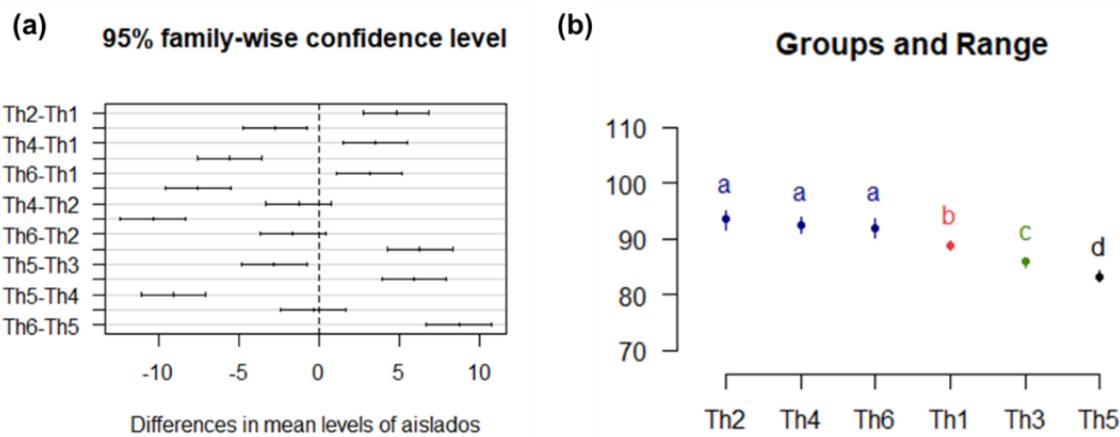


Figura 2. Prueba de post-hoc de Tukey para el porcentaje de inhibición de FocR1 obtenido con cada aislado de *Trichoderma* evaluado.

De la comparación de medias pareadas del gráfico 2a, se puede concluir que no existe diferencia significativa entre Th2-Th4, Th2-Th6 y Th4-Th6. Así mismo, se observa que la inhibición de las cepas de *Trichoderma* Th1, Th3 y Th5 presentan diferencias significativas con respecto al total de aislados, siendo Th3 y Th5 las de menor inhibición con un porcentaje inferior al 87%.

Especies de *Trichoderma* aisladas frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza 4 tropical (FocR4T)

De los resultados de antagonismo obtenidos frente a FocR1, se seleccionaron los aislados con inhibición superior al 87%, correspondientes a los tratamientos (Th1, Th2, Th4 y Th6) y se determinó el porcentaje de inhibición de FocR4T en interacción con cada uno de los aislados de *Trichoderma* (Figura 3).



Figura 3. Actividad antagonica de cuatros aislados de *Trichoderma*, en doble prueba de confrontación contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense*. Raza 4, tropical, 8 días después de la siembra. Nota: Crecimiento control de Foc R4T y en interacción con cuatros aislados de *Trichoderma*.

En la Figura 4, se evidencia que los cuatros aislados presentaron porcentajes de inhibición superiores al 80% para el caso de Th1 y Th6 el promedio del porcentaje de inhibición fue de 84%, y para el caso de Th2 y Th4 el porcentaje de inhibición se encuentra en rango de 85 y 87%, respectivamente. Estos datos fueron sometidos a análisis estadísticos, para validar si existen diferencias entre los aislados de *Trichoderma* frente a FocR4T.

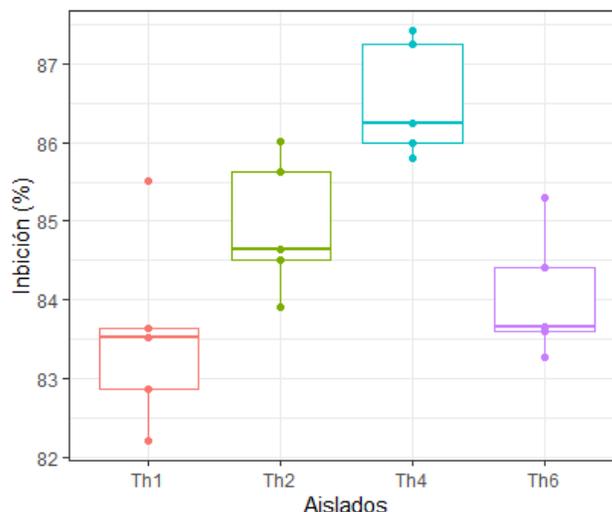


Figura 4. Efecto antogonico de diferentes aislados nativos de *Trichoderma asperellum* sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* FocR4T, *in vitro*.

Cuadro 2. Análisis de varianza del porcentaje de inhibición de los aislados cuatro aislados de *Trichoderma* frente Foc R4T

Analysis of variance (ANOVA)						
	Df	Sum sq	Mean sq	F value	Pr(>F)	
Aislados	3	25,92	8,640	9,897	0,000626	***
Residuals	16	13,97	0,873			

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Dado que el p-value < 0,05, se evidencia que existen diferencias significativas en el porcentaje de inhibición de los aislados de *Trichoderma* frente FocR4T.

La prueba post-hoc de Tukey (figura 5), permite observar que las diferencias significativas se presentan entre los aislados Th1-Th4 y Th4-Th6, lo cual guarda relación con el agrupamiento del gráfico 5b. Así mismo, se evidencia que la cepa de

Trichoderma Th4, presenta el mayor porcentaje de inhibición frente a FocR4T. Sin embargo, el agrupamiento permite concluir que el total de aislados fueron efectivos en la inhibición del patógeno de estudio.

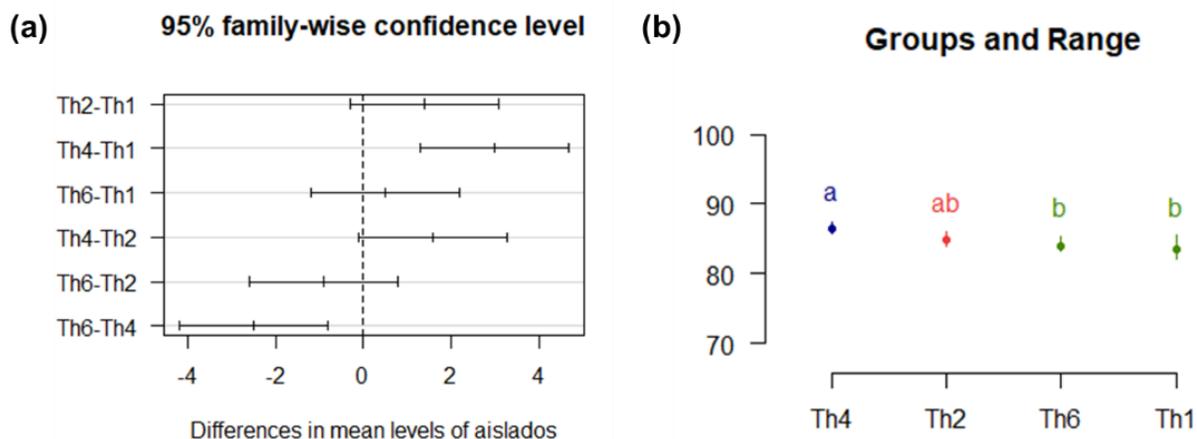


Figura 5. Prueba de post-hoc de Tukey para el % de inhibición de Foc R4T obtenido con cada aislado de *Trichoderma* evaluado. *Nota:* en la prueba de post.hoc de Tukey se puede observar que existen diferencias estadísticas entre las medias de los % de inhibición obtenido por cada tratamiento evaluado.

Estos resultados se asemejan a los resultados de un estudio realizado en Malasia por Rahman et al 2021, quienes en prueba de enfrentamiento dual encontraron que tres aislamientos de *Trichoderma asperellum* B1902 (84,85%), T2007 (77,78% y C1667 (75,76%), presentaron altos porcentajes de inhibición de crecimiento de *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* aislado 9888. Así mismo, Chand et al 2021, evaluaron cuatro agentes de biocontrol aislado en la India para el control de FocR4T en condiciones in vitro a través de prueba de enfrentamiento dual y diez días después del montaje, encontraron que el mayor porcentaje de inhibición sobre el control lo registraron dos cepas de *Trichoderma asperellum* 1 (Tr1) y *Trichoderma asperellum* 2 (Tr2) con porcentajes de 64,82% y 62,70% respectivamente, mientras que los porcentajes de inhibición más bajos los obtuvieron con *Aspergillus flavus* (35,00%) y mínima en *Penicillium chrysogenum* (22,62%).

En Filipinas Catambacan (2021), determinó la actividad antagónica de hongos endófitos aislados de malezas que crecen en fincas bananeras Cavendish contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* TR4 (FocR4T), con una alta actividad inhibidora en pruebas de enfrentamiento dual y obteniendo un porcentaje de inhibición del patógeno de 87% con aislado endófito de *Trichoderma asperellum*.

REFERENCIAS

1. Bubici, G., Kaushal, M., Prigigallo, M. I., Cabanás, C. G. L., & Mercado-Blanco, J. (2019). Biological control agents against *Fusarium* wilt of banana. *Frontiers in Microbiology*, 10(APR). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00616>
2. Catambacan, D. G., & Cumagun, C. J. R. (2021). Weed-associated fungal endophytes as biocontrol agents of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense TR4 in cavendish banana. *Journal of Fungi*, 7(3), 224.
3. Chand, K., Singh, S. K., Meena, R., Nain, Y., & Verma, S. (2021). Antagonistic Effects of Different Soil Isolate Bio-agents against *Fusarium oxysporum* f. sp. Cubense TR4 In vitro and Molecular Characterizations. *Journal of Experimental Agriculture International*, 43(12), 29-36.
4. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., & Staver, C. P. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 871(October), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>
5. García-Bastidas, F. A., Quintero-Vargas, J. C., Ayala-Vasquez, M., Schermer, T., Seidl, M. F., Santos-Paiva, M., Noguera, A. M., Aguilera-Galvez, C., Wittenberg, A., Hofstede, R., Sørensen, A., & Kema, G. H. J. (2020). First report of Fusarium Wilt Tropical race 4 in Cavendish Bananas Caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. In *Plant Disease* (Vol. 104, Issue 3). <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1922-PDN>
6. Izquierdo-García, L.F.; Carmona, S.L.; Zuluaga, P.; Rodríguez, G.; Dita, M.; Betancourt, M.; Soto-Suárez, M. Efficacy of disinfectants against *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense tropical race 4 isolated from La Guajira, Colombia. *J. Fungi* 2021, 7, 297. <https://doi.org/10.3390/jof7040297>.
7. Prigigallo, M. I., Gómez-Lama Cabanás, C., Mercado-Blanco, J., & Bubici, G. (2022). Designing a synthetic microbial community devoted to biological control: The case study of Fusarium wilt of banana. *Frontiers in Microbiology*, 13, 967885.
8. Rahman, S. S. M. S. A., Zainudin, N. A. I. M., & AZIZ, N. A. A. (2021). Evaluation of *Trichoderma asperellum* B1902 in Controlling Fusarium Wilt of Cavendish Banana Cultivar. *Sains Malaysiana*, 50(9), 2549-2561.
9. Rodríguez-Yzquierdo, G., Olivares, BO, Silva-Escobar, O., González-Ulloa, A., Soto-Suarez, M., & Betancourt-Vásquez, M. (2023). Mapeo de la susceptibilidad de las tierras musáceas colombianas a una enfermedad mortal: *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Tropical Race 4. *Horticulturae*, 9 (7), 757.
10. Bader, A. N., Salerno, G. L., Covacevich, F., & Consolo, V. F. (2020). Native *Trichoderma harzianum* strains from Argentina produce indole-3 acetic acid and phosphorus solubilization, promote growth and control wilt disease on tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 867–873

Primer reporte de micovirus con actividad de hipovirulencia sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (Foc)

Laura Arango-Palacio¹; Carlos Alberto Peláez-Jaramillo¹; María Dolores García-Pedrajas²; Carmen Cañizares-Nolasco²; Sebastián Zapata-Henao³; Andrés Mauricio Pinzón-Núñez^{3*}

¹Universidad de Antioquia, campus Medellín, 050022, Colombia; ²Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea “La Mayora” (IHSM), Algarrobo Costa-Málaga 29750, España; ³Centro de Investigación del Banano CENIBANANO-AUGURA, Carepa-Antioquia 057850, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Andrés Mauricio Pinzón-Núñez
fitopatologia@augura.com.co

Contribución:
Científico

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Arango-Palacio L, Peláez-Jaramillo CA, García-Pedrajas MD, Cañizares-Nolasco C, Zapata-Henao S y Pinzón-Núñez AM. 2024. Primer reporte de micovirus

con actividad de hipovirulencia sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (Foc).

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 54
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2454>

RESUMEN

La Marchitez por *Fusarium* es considerada la enfermedad más devastadora en la historia del Banano, ocasionada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (Foc). La eventual llegada de Foc Raza 4 Tropical (Foc R4T) a Latinoamérica, ha generado gran preocupación y activado la alerta en el gremio bananero, lo que ha conllevado a la búsqueda de estrategias para contener y manejar la enfermedad. A nivel mundial no existen productos de síntesis química que la controlen y las investigaciones están orientadas al mejoramiento genético y a la bioprospección de microorganismos antagonistas. En ese contexto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de hipovirulencia del hipovirus asociado a *Cryphonectria parasítica* (CHV-1) sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* raza 1 (Foc R1), mediante la fusión de protoplastos. Las cepas de Foc R1 transformadas con el hipovirus evidenciaron diferentes niveles de acumulación, disminución en el crecimiento, cambios morfológicos y de pigmentación. Los resultados obtenidos demuestran el efecto de hipovirulencia sobre cepas de Foc R1 e indican que la fusión mediante protoplastos puede ser utilizada para la transferencia viral. Estudios posteriores en condiciones de invernadero, permitirán esclarecer si las cepas transformadas presentan disminución en la virulencia del hongo y consecuentemente reducción de la severidad de la enfermedad en plantas de banano.

Palabras clave: Banano, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense*, Micovirus, Hipovirulencia, Biocontrol.

ABSTRACT

Fusarium wilt is considered the most devastating disease in the history of Banana, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* (Foc). The eventual arrival of Tropical Race 4 (TR4) to Latin America has generated great concern and raised the alarms in the banana industry, which has led to the search for strategies to contain and manage the disease. At a global scale there are no chemical synthesis products that control it and research is aimed at genetic improvement and bioprospecting of antagonistic microorganisms. In this context, the aim of the present work was to evaluate the hypovirulence effect of the hypovirus associated with *Cryphonectria parasítica* (CHV-1) on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* race 1 (Foc R1), through protoplast fusion. The Foc R1 strains transformed with the hypovirus, showed different levels of



accumulation, decreased growth, morphological and pigmentation changes. The results obtained demonstrate the effect of hypovirulence on Foc R1 strains, and indicate that fusion through protoplasts can be implemented for viral transfer. Additional research under greenhouse conditions, will clarify whether the transformed strains present a decrease in the virulence of the fungus and consequently a reduction in the disease severity in banana plants.

Keywords: Banana, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, Mycovirus, Hypovirulence, Biocontrol, phytosanitary.

INTRODUCCIÓN

El banano es considerado una de las frutas tropicales de mayor importancia e influencia, debido a su alto consumo, aporte en las economías de los países productores, exportadores y consumidores, además, de ser catalogado como cultivo fundamental en la seguridad alimentaria (FAO, 2019). Sin embargo, uno de los limitantes del cultivo son los problemas fitosanitarios, siendo el caso de la “Marchitez Vascular” una de las enfermedades más limitantes y devastadoras de la industria bananera, ocasionada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, el cual coloniza y obstruye los haces vasculares, impidiendo la absorción de agua y nutrimentos, generando marchitez y consecuentemente la muerte de la planta (Dita *et al.*, 2018). De este hongo se conocen 4 razas genéticas y patogénicamente diversas, de las cuales la raza 4 tropical (Foc R4T), es la más destructiva ocasionando pérdidas de rendimiento del 100 % (Ploetz, 2015).

Uno de los problemas que trae consigo esta enfermedad, es la falta de alternativas de control y manejo que minimicen los umbrales de daño. Es importante mencionar que a nivel mundial no existen productos de síntesis química que controlen la enfermedad y las investigaciones están direccionadas a la obtención de material vegetal resistente y estrategias biológicas mediante microorganismo antagonistas. En ese sentido, los micovirus surgen como una de las alternativas promisorias para el manejo de la enfermedad. En la actualidad se han descrito virus con la capacidad de infectar hongos fitopatógenos, donde, su principal caso de infección viral se ha asociado a la alteración de determinados caracteres fenotípicos, siendo el de mayor relevancia la reducción de la virulencia (hipovirulencia) (Torres-Trenas, 2019). La hipovirulencia se describió con éxito por primera vez en poblaciones de *Cryphonectria parasitica*, agente causal del chancro del castaño, la infección por el micovirus CHV-1 resultó en un crecimiento reducido, pigmentación anormal y actividad hipovirulenta (Nuss, 1992). La transmisión de micovirus se puede ver afectada por la incompatibilidad vegetativa (Leslie, 1993), sin embargo, esta puede superarse en el laboratorio mediante el uso de

protoplastos. En la actualidad se ha informado el éxito de la transmisión de dsRNA mediante protoplastos en fitopatógenos fúngicos incluyendo, *Aspergillus*, *Fusarium poae* y *Rosellinia necatrix* (Kanematsu et al., 2010; van Diepeningen *et al.*, 2000, 2006). En este estudio se evidencia que, el proceso de transformación por protoplastos permitió la transferencia de micovirus hipovirulentos a una de las especies fitopatógenas fúngicas de mayor importancia económica en el mundo, además, es el primer reporte de la actividad de hipovirulencia de un micovirus sobre Foc. Esto permitirá generar conocimientos para el desarrollo de nuevas estrategias biotecnológicas para su uso dentro de planes de manejo integrado de la enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material fúngico. Las cepas fúngicas fueron obtenidas a partir de muestras de tejido vegetal de plantas de Banano Manzano sintomáticas colectado en la región del Urabá - Antioquia. El tejido fue desinfectado mediante Hipoclorito de Sodio (NaClO) al 2 % durante 60 seg, los fragmentos fueron sembrados en medio Agar papa dextrosa (PDA). Posteriormente, las cepas fueron caracterizadas morfológicamente e identificadas mediante PCR utilizando los *primers* específicos para Foc R1 W1805F (5'GTTGAGTCTCGATAAACAGCAAT'3) y W1805R (3'GACGAGGGGAGATATGGTC'5) propuestos por (Li *et al.*, 2013). Finalmente, del total de cepas identificadas, se seleccionó la que presentó mayor grado de severidad a partir de los resultados obtenidos de las pruebas de patogenicidad en plantas de banano "Gros Michel". Esta cepa fue utilizada para la inserción del micovirus CHV-1 mediante transformación de protoplastos.

Preparación del cultivo y formación de Protoplastos. Se Inocularon 100 mL de Caldo papa dextrosa (PDB) a una concentración de 1×10^8 conidios y se llevaron a incubar durante 11-12 horas a 28 °C y 200 rpm. Posteriormente, se filtraron por membrana Mira cloth para recoger germínulas y mezclarlas en 20 mL de Buffer OM (1.2 M MgSO₄ + 10 mM Na₂HPO₄) con 50 mg de Driselasa y 1 g de Extralyse, seguidamente se incubaron durante 3 horas a 28 °C 50 rpm. Al observar formación de protoplastos, se procedió a filtrar con filtro de nylon de 40 µm y lavado con STC (10 mM Tris – HCl pH 7.5, 50 mM CaCl₂, 0.8 M Sorbitol) para coleccionar los protoplastos, finalmente se centrifugó durante 15 min a 3000 rpm a 4 °C. El Pellet se resuspendió en 300-400 µm de STC. Posteriormente, se realizó el conteo de protoplastos a dilución 1:100 y se centrifugó durante 5 min a 3000 g a 4 °C. El pellet se resuspendió en un volumen adecuado de STC para ajustar concentración a $2-3 \times 10^8$ protoplastos / mL.

Transformación. Se tomó una alícuota de 100 μL de protoplastos y se añadió 10 μL del ADN del plásmido PXH9 (posee el genoma viral de CHV-1) con resistencia a higromicina, se incubó en hielo durante 30 min. Posteriormente, se agregó 1 mL de PTC (Polietilenglicol) y se incubó durante 25 min a RT (temperatura ambiente), se centrifugó a 4000 g durante 5 min y el pellet se resuspendió en 600 μL de STC. Para la siembra se tomaron 200 μL de la solución de protoplasto y se mezclaron con el top agar, esto fue vertido al medio de regeneración, y llevado a incubación a 28 °C. Al siguiente día, se adicionó al medio la solución con presión selectiva con 50 μL de higromicina (100 μg / mL). Se incubó a 28 °C entre 4-5 días. Cada transformante fue transferido individualmente a PDA más 50 μL de higromicina y posteriormente se realizó purificación de la colonia.

Transmisión y acumulación del virus. Para evidenciar la inserción del genoma viral en la cepa de Foc Raza 1, se realizó extracción de ADN a partir de material fúngico, la PCR se realizó utilizando los *primers* CHV1F2 (5' AAGTACTTGGTTGGCATGGCGT 3') y CHV1R3 (3' GAATAAACAGCTCGACCCAATGC 5') propuestos por Shapira *et al.* (1991), la cual amplifica un fragmento de 4000 pb. El nivel de acumulación del virus en los transformantes se evaluó mediante la purificación de dsRNA a partir de columnas de celulosa (Cellulose fibers, médium SIGMA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron 31 cepas caracterizadas morfológicamente, de las cuales 13 fueron identificadas como *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 1. La cepa 27 que evidenció síntomas característicos de la enfermedad, presentó 100 % de severidad (Figura 1), la cual, fue seleccionada para ser transformada con el micovirus CHV-1.

A partir del proceso de transformación de la cepa 27, se obtuvieron 15 transformantes de Foc raza 1. La inserción del genoma viral de CHV-1 se confirmó mediante la amplificación de un fragmento de 4000 pb (Figura 2).

Para la purificación del dsRNA, se seleccionaron cepas con diferentes niveles de acumulación, evidenciando que los transformantes 7 y 13 mostraron altos niveles de acumulación (Figura 3).

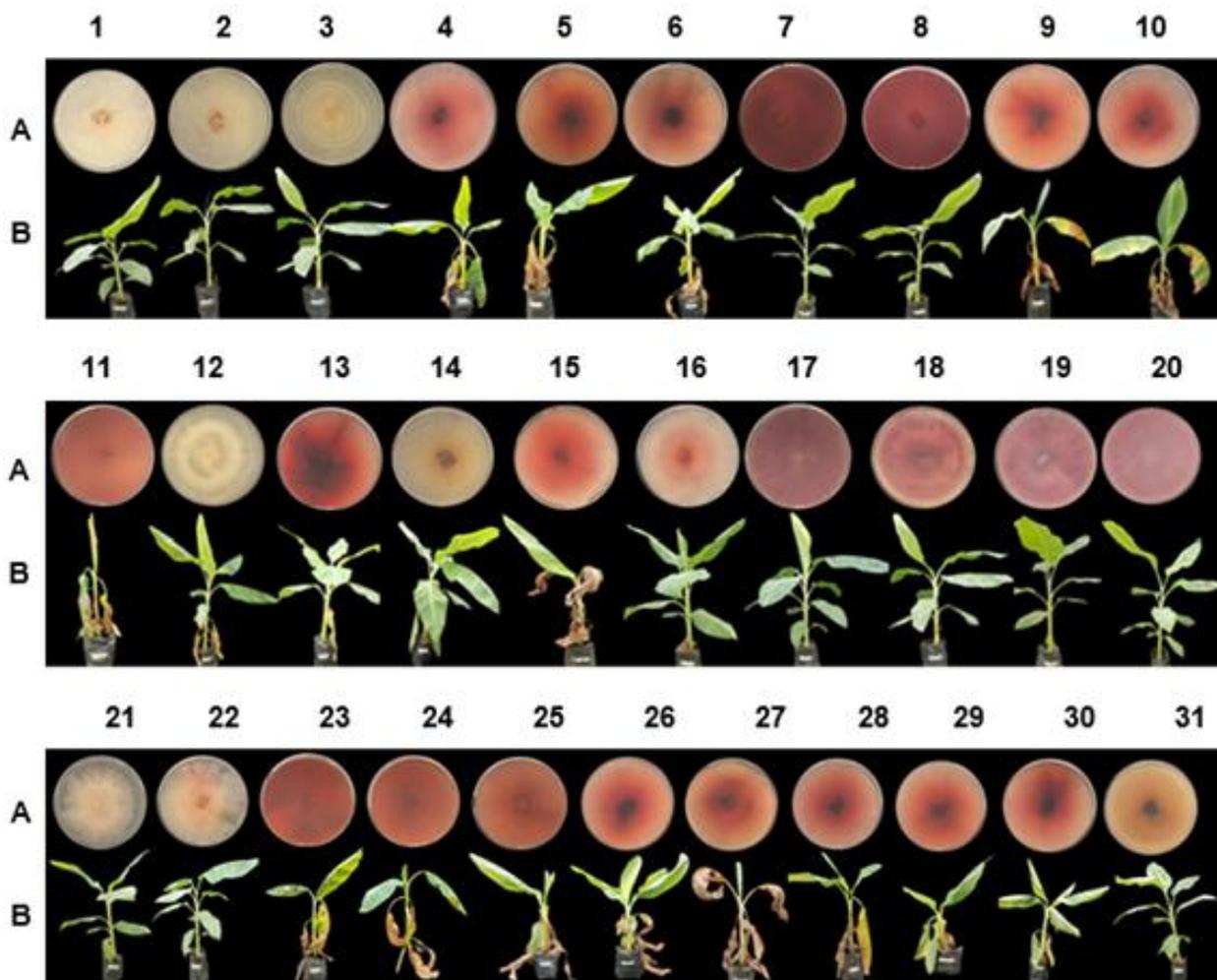


Figura 1. Morfología y pruebas de patogenicidad de los 31 aislados identificados en la región del Urabá. **A.** Morfología de las cepas crecidas en medio PDA durante 7 días a una temperatura de 26 °C. **B.** Prueba de patogenicidad de las cepas en plantas de Banano “Gros Michel”.

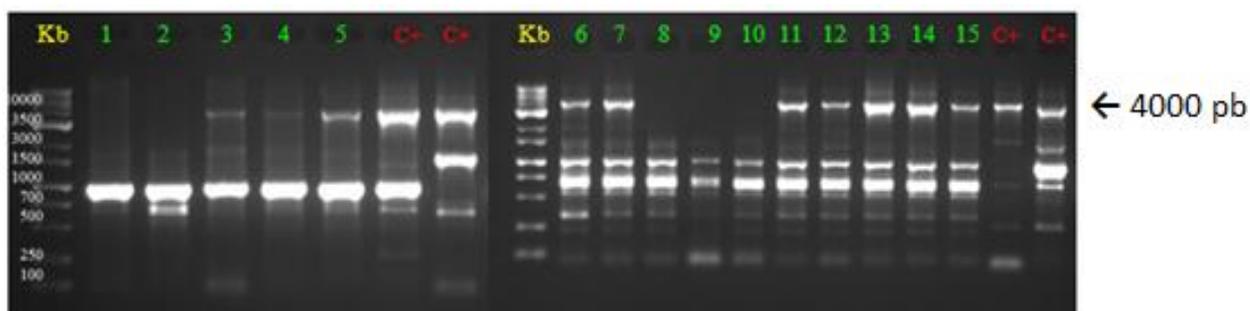


Figura 2. Productos amplificados de CHV-1 a partir de las cepas transformantes de Foc raza 1. Carril Kb: Marcador molecular de ADN. Carril 1-15 transformantes. Carril C+: Control positivo (Cepas de *Fusarium verticillioides* y *Fusarium solani* con CHV-1).



Figura 3. Purificación de dsRNA a partir de columnas de celulosa. Carril Kb: Marcador molecular de ADN. Carril C-. Control negativo (Foc R1 cepa 27 libre de virus) Carril 5,7,8,13. Diferentes niveles de acumulación de transformantes de Foc R 1 con CHV-1.

Por lo general los micovirus con acción hipovirulenta ocasionan en su huésped fúngico alteraciones a nivel morfológico como cambios en su pigmentación y disminución en el crecimiento radial (Torres-Trenas, 2019), los transformantes evaluados mostraron alteraciones en la pigmentación (Figura 4). A su vez, el crecimiento radial del micelio, evidenció disminución comparado con la cepa libre del virus (Figura 5).



Figura 4. Cambios en la pigmentación de los transformantes. De izquierda a derecha los transformantes 5,7,8, 13 y el control negativo libre de virus (Cepa 27).

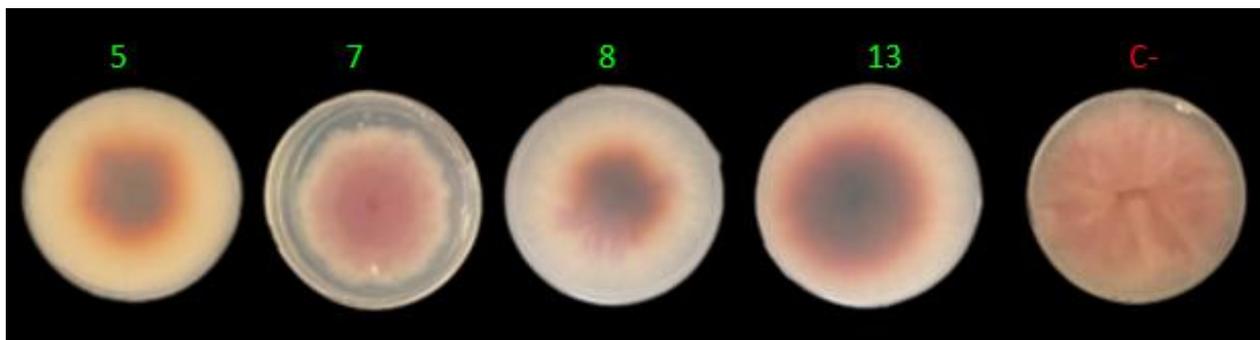


Figura 5. Alteración de la tasa de crecimiento radial del micelio. De izquierda a derecha los transformantes 5,7,8, 13. C- Control negativo libre de virus.

En la transformación de protoplastos de las cepas de *Fusarium asiaticum* y *Fusarium graminearum* infectadas por el micovirus *Fusarium standiivirus* evidenciaron tasas de crecimiento reducidas y una mayor pigmentación en relación con las cepas libres de virus, sin embargo, en *F. oxysporum* infectado con el virus las alteraciones morfológicas fueron mínimas. En ensayos de virulencia en *Fusarium oxysporum* las cepas infectadas por el virus eran menos virulentas que las cepas libres de virus (Lee *et al.*, 2011). En este estudio demostramos la efectividad de la utilización de protoplastos como vía para la transferencia de micovirus hipovirulentos con posible acción biológica. Es importante resaltar que la incorporación de genomas virales por medio de protoplastos puede ocasionar alteraciones mínimas del fondo genético y fisiología por lo que el comportamiento entre especies puede divergir (Kim *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2011), es por ello que se hace necesario evaluar si las cepas con acumulación del virus logran disminuir la severidad de la enfermedad en condiciones de invernadero, y con ello establecer la eficacia y el potencial de los micovirus como agentes de control biológico.

CONCLUSIONES

Estos resultados demuestran que la transformación mediante protoplastos es una herramienta viable para la incorporación de micovirus con acción hipovirulenta en fitopatógenos fúngicos, además, permite evaluar las alteraciones que estos pueden ejercer mediante mínimos cambios a nivel genómico y fisiológico. Cabe mencionar que este es el primer reporte de micovirus con actividad de hipovirulencia sobre *Foc*. Sin embargo, se requieren mayores investigaciones con el fin de comprender las interacciones entre virus-hongo-planta y como estos pueden tener aplicabilidad dentro de un manejo integrado de enfermedades.

REFERENCIAS

1. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., & Staver, C. P. (2018). Fusarium Wilt of Banana: Current Knowledge on Epidemiology and Research Needs Toward Sustainable Disease Management. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>
2. FAO. (2019). *Foro Mundial Bananero*. <https://www.fao.org/world-banana-forum/es/>
3. Kanematsu, S., Sasaki, A., Onoue, M., Oikawa, Y., & Ito, T. (2010). Extending the Fungal Host Range of a Partitivirus and a Mycoreovirus from *Rosellinia necatrix* by Inoculation of Protoplasts with Virus Particles. *Phytopathology*®, 100(9), 922–930. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-9-0922>
4. Kim C, Choi EC, & Kim BK. (1997). Protoplast fusion between *Lentinula edodes* and *Coriolus versicolor*. *Arch of Pharm Res*. *Arch of Pharm Res*, 20, 448–453.
5. Lee, K.-M., Yu, J., Son, M., Lee, Y.-W., & Kim, K.-H. (2011). Transmission of *Fusarium boothii* Mycovirus via Protoplast Fusion Causes Hypovirulence in Other Phytopathogenic Fungi. *PLoS ONE*, 6(6), e21629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021629>
6. Leslie, J. (1993). Fungal vegetative compatibility. *Annu Rev Phytopathol*, 31, 127–150.
7. Li, M., Shi, J., Xie, X., Leng, Y., Wang, H., Xi, P., Zhou, J., Zhong, S., & Jiang, Z. (2013). Identification and application of a unique genetic locus in diagnosis of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35(4), 482–493. <https://doi.org/10.1080/07060661.2013.828321>
8. Nuss, D. L. (1992). Biological control of chestnut blight: an example of virus-mediated attenuation of fungal pathogenesis. *Microbiological Reviews*, 56(4), 561–576.
9. Ploetz, R. C. (2015). Management of Fusarium wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. *Crop Protection*, 73, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.007>
10. Shapira, R., Choi, G. H., & Nuss, D. L. (1991). Virus-like genetic organization and expression strategy for a double-stranded RNA genetic element associated with biological control of chestnut blight. *The EMBO Journal*, 10(4), 731–739. <https://doi.org/10.1002/j.1460-2075.1991.tb08004.x>
11. Torres Trenas, A. (2019). *Micovirus en aislados de Fusarium oxysporum f. sp dianthi: caracterización genómica y biológica. (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba (ESP))*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=249971>
12. van Diepeningen, A. D., Debets, A. J. M., & Hoekstra, R. F. (2006). Dynamics of dsRNA mycoviruses in black *Aspergillus* populations. *Fungal Genetics and Biology*, 43(6), 446–452. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2006.01.014>
13. van Diepeningen, A. D., Debets, A. J. M., Slakhorst, S. M., Fekete, C., Hornok, L., & Hoekstra, R. F. (2000). Interspecies virus transfer via protoplast fusions between *Fusarium poae* and black *Aspergillus* strains. *Fungal Genetics Reports*, 47(1), 99–100. <https://doi.org/10.4148/1941-4765.1216>

Formosana: variante somaclonal de alta tolerancia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4

Eldad Ronen¹; Amnon Ronen²; Du Roi Laboratory³

Galiltec; Du Roi Laboratory.

***Autor de**

Correspondencia:

Eldad Ronen
eldad@galiltec.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Ronen E, Ronen A y Du
Roi Laboratory. 2024.

Formosana: variante
somaclonal de alta
tolerancia a *Fusarium
oxysporum* f. sp. *cubense*.

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):

55

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2455](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2455)

RESUMEN

En este ensayo, se investiga los factores agro-técnicos de una variante somaclonal de una planta específica que ha demostrado una alta tolerancia a la cepa Tropical Race 4 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, un patógeno fúngico devastador que afecta a las plantaciones de banano. Se describen las características de esta variante, se compara con las variedades convencionales y se analiza su tolerancia a la enfermedad.

Palabras clave: TR4, Formosana, tolerancia, Fitosanidad.

ABSTRACT

In this trial, agrotechnical factors of a somaclonal variant of a specific plant is investigated that has demonstrated high tolerance to the Tropical Race 4 strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, a devastating fungal pathogen that affects banana plantations. The characteristics of this variant are described, it is compared with conventional varieties and its tolerance to the disease is analyzed.

Keywords: TR4, Formosana, tolerance, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

Formosana es una variedad de banano Cavendish con una alta tolerancia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (Foc TR4), la cual fue obtenida mediante variación somaclonal en el Instituto de Investigación Bananera de Taiwán (TBRI). Procede de plantas de cultivo de tejido Giant Cavendish, la cual era la principal variedad utilizada en Taiwán antes de la presencia de la marchitez por *Fusarium*. De una lista de selecciones somaclonales de Giant Cavendish, la primera planta tolerante que fue seleccionada, probada y liberada con éxito a los productores comerciales fue llamada Tai Chiao No.1 (también conocida como GCTCV-215-1).



Formosana (también conocida como GCTCV-218) sustituyó a Tai Chiao No. 1 en los huertos infestados de Taiwán debido a su mejor tolerancia y características hortícolas. Ecuador es el mayor país exportador del banano Cavendish. En los dos países que lo rodean por ambos lados, Colombia y Perú, ya ha extendido el FOC R4T de forma muy alarmante. Los productores de Ecuador requieren variedades confiables que sean tolerantes a la enfermedad. En América Latina, específicamente en Ecuador, la variedad más popular sembrada en las plantaciones de banano para exportación es Williams; Formosana-218 es nuevo para esta región de Latino América. Por lo tanto, la investigación presentada en esta presentación es dedicada al conocimiento y comparación de Formosana-218 y Williams.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se hizo bajo el control de Agrocalidad e INIAP con las plantas de Formosana y Williams de parte de Galiltec/Du Roi. La primera siembra fue el 02 de septiembre en la zona de Quevedo, Ecuador. Se observó la primera floración en 21 semanas. En un lapso de cinco semanas, toda la parcela se terminó de floral. Dos meses después, se sembró otra parcela en La Península para probar diferentes aspectos de clima y tierra; la plantación de La Península es orgánica.

Los datos que fueron tomados consisten en las semanas a parición, altura a la parición, hojas verdes a la parición, total hojas en la parición, total manos a la parición, manos deschavados, total dedos, dedos comerciales, dedos mano basal, dedos mano apical, longitud de dedos mano basal, longitud de dedos mano apical, altura del hijo (parición) y el peso de racimo por cosecha.

Se hizo con toda la practica agrícola recomendada por los expertos de Agrocalidad, INIAP y Galiltec. Esto consiste en una adecuada preparación de tierra, drenaje, riego y fertilización, plantas de meristemo, plantación uniforme y sobre todo con todos los temas de bioseguridad para un adecuado control del Fusarium y otras enfermedades de plantas de banano. La densidad trabajada es de 1,500 plantas por Ha. Se sembró en doble hilera con distancia de 5.5m de centro a centro con un sistema de fertirriego de microaspersión en el centro de la doble hilera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Descripción detallada de las características de la variante somaclonal.
- Comparación con las variedades convencionales en términos de crecimiento, resistencia y producción.
- Tolerancia de la variante somaclonal a la infección por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Raza 4 en otros países.

Cuadro 1. Datos de R0 de parcela de Quevedo, Ecuador

Formosana										
Datos	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10
Semanas a parición	23	23	24	24	24	24	24	24	25	25
Altura a la parición	2.9	3	3	2.9	3	3	2.9	3	3	2.9
Hojas verdes a la parición	18	18	18	18	18	17	17	17	17	18
Total hojas de siembra - parición	36	38	38	37	37	38	36	38	37	37
Total manos a la parición	10	10	11	10	11	10	10	11	10	10
Manos deschavados	f+2									
Total dedos a la parición	188	199	212	171	189	182	176	211	162	214
Dedos comerciales	134	146	145	136	137	127	121	160	108	162
Dedos mano basal	19	27	30	26	18	18	17	29	19	29
Dedos mano apical	17	17	17	16	17	15	15	17	16	15
Longitud dedos mano basal	8"	9"	7"	8"	8"	8"	7"	8"	7"	7"
Longitud dedos mano apical	7"	7"	6"	6"	5"	6"	5"	6"	6"	5"
Altura del hijo a la parición	1.9	1.5	2.0	1.9	1.4	1.5	1.8	1.8	1.5	1.9

Williams					
Datos	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
Semanas a parición	24	24	24	24	25
Altura a la parición	2.8	2.7	2.7	2.8	2.9
Hojas verdes a la parición	16	16	16	16	17
Total hojas de siembra - parición	36	37	37	36	37
Total manos a la parición	10	9	9	9	10
Manos deschavados	f+2	f+2	f+2	f+2	f+2
Total dedos a la parición	186	162	143	171	180
Dedos comerciales	134	146	145	136	137
Dedos mano basal	132	112	89	120	127
Dedos mano apical	19	18	18	17	19

Formosana	Williams
24	24.2
3.0	2.8
17.6	16.2
37.2	36.6
10.3	9.4
f+2	f+2
190.4	168.4
137.6	116.0
23.2	18.2
16.2	15.2

Longitud dedos mano basal	7"	8"	8"	8"	7"
Longitud dedos mano apical	6.7"	6.0"	6.0"	5.0"	5.5"
Altura del hijo a la parición	1.7	1.7	1.5	1.8	1.8

7.7"	7.6"
5.9"	5.8"
1.7	1.7

Formosana	Williams
------------------	-----------------

R0: 1.27 R0: 1.25

Racimos de Formosana 218

Detalle	Medida	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Peso de Racimo	Libras	62.0	73.2	67.8	63.0	68.0	69.6	88.0	68.6	76.0	76.0
Manos	Unidades	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Peso de Fruta	Libras	52.8	61.2	56.0	53.6	56.0	57.8	74.2	57.6	60.4	64.2
Peso Raquis	Libras	9.20	9.46	11.00	9.40	11.00	11.00	13.80	11.00	12.25	11.85
Cantidad de Dedos	Unidades	91	130	128	131	121	136	153	130	131	141
Calibración Mano 2	Dedos	46	46.5	46	46	45	44	46	44	44	45
Calibración Ultima Mano	Dedos	42	43	40	42	42	40	44	42	41	43
Largo de Dedo 2nda Mano	Pulgadas	10.5	10	10	10.5	10	10	11	10	10.5	10
Largo de Dedo Última Mano	Pulgadas	8	8	8	8	8	9	8	8	8.5	8

Datos de R1 de parcela de Quevedo, Ecuador

Formosana R1 (promedios)							
Datos	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	
Semanas a parición	20	22	23	24	25	26	
Parición (%) de plantas por semana	1.4	5.4	8.1	8.1	36.5	40.5	
Hojas verdes a la parición	15	15	14	13	13	10	
Total manos a la parición	12	12	12	12	12	12	
Manos deschavados (desmanados)	f+2	f+2	f+2	f+2	F+2	F+2	
Manos Comerciales	10	10	10	10	9	10	
Total dedos a la parición	176	183	181	184	186	194	
Dedos mano basal	19	23	26	25	20	23	
Dedos mano apical	17	16	18	18	18	17	
Calibración mano basal	50	44	47	43	45	45	
Calibración mano apical	47	42	43	40	41	41	

Longitud dedos mano basal	10	10	9	10	10	10
Longitud dedos mano apical	8	8	8	8	8	8
Peso racimo a la cosecha	84	84	86	79	72	79
Peso solo fruta	72	71	73	64	63	70
Peso solo RK	12	14	14	14	7	11

Peso Lb solo fruta por racimo	71.4
Caja/Racimo/Lb	1.72
Producción estimado Cajas/Ha/año	4,129

Williams R1															
Datos	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15
Semanas a parición	20	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	25	26	27	27
Hojas verdes a la parición	13	12	11	10	10	10	11	10	10	9	9	9	9	9	8
Total hojas siembra - parición	6	6	5	6	4	5	4	5	4	4	4	4	5	6	4
Total manos a la parición	13	13	13	13	13	14	12	12	12	13	14	13	13	12	12
	F+	F+	F+	F+	F+	F+									
Manos deschavados	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2
Manos Comerciales	11	11	10	10	11	11	10	9	9	11	12	11	10	9	10
Total dedos a la parición	192	223	217	186	218	230	176	180	166	230	226	184	184	186	205
Dedos mano basal	20	27	29	20	22	28	20	30	19	28	20	27	29	20	22
Dedos mano apical	16	18	18	18	18	18	16	19	16	17	16	18	18	18	18
Calibración mano basal	44	45	46	42	46	45	46	44	46	46	46	45	45	42	45
Calibración mano apical	40	41	43	39	43	41	42	41	41	41	42	41	43	39	42
Longitud dedos mano basal	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9
Longitud dedos mano apical	8.5	8	8	8	8	8	8	9	9	8	8	8	8	8	8
Peso racimo a la cosecha	89	94	89	83	99	92	75	92	82	106	109	101	94	86	83
Peso solo fruta	78	81	75	72	87	78	61	77	67	93	98	88	82	71	72
Peso solo RK	11	13	14	12	12	14	14	16	15	14	10	13	12	14	13

Datos de R2 de parcela de Quevedo, Ecuador

Formosana R2 (Promedio)						
Datos	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
Semanas a parición	2.2	17.4	13.0	39.1	15.2	13.0
Hojas verdes a la parición	13	13	14	15	16	15
Total hojas verdes- cosecha	7	8	9	9	13	9
Total manos a la parición	12	11	12	11	11	11
Manos deschavados (desmanados)	f+3	f+3	f+3	f+3	f+2	f+3
Manos Comerciales	9	7	9	9	9	9
Total dedos a la parición	189	121	167	142	157	146
Dedos mano basal	21	18	23	19	22	18
Dedos mano apical	17	14	16	15	15	15
Calibración mano basal	45	45	43	44	44	45
Calibración mano apical	41	43	40	41	40	42
Longitud dedos mano basal	10	10	10	10	10	10
Longitud dedos mano apical	8	8	8	8	8	8
Altura del hijo a la parición	2	2	2	2	3	3
Peso racimo a la cosecha	86	62	73	69	72	69
Peso solo fruta	73	51	61	57	60	59
Peso solo RK	13	11	12	12	12	10

Características hortícolas de Formosana en Taiwán y Mozambique

Es una selección productiva, con una altura media de planta de 2,8 m.

La planta tiene un pseudo tallo grande y fuerte, con hojas gruesas y erguidas que se agrupan en la corona. Conformación cilíndrica del racimo. La longitud de los dedos es similar a la de Williams, lo que le confiere un alto empaquetamiento de frutos grandes y extragrandes y la hace adecuada para los mercados de exportación.

Racimos de alto rendimiento. La masa del racimo es similar a la de variedades populares como Grand Nain y Williams. En Taiwán, los racimos eran 8,9 kg más pesados que los de Giant Cavendish. En Mozambique, a lo largo de dos ciclos de cultivo en suelos infectados por Foc TR4, los racimos de Formosana fueron de media 1,9 kg más pesados que los de Nandi, una selección mejorada de Grand Nain.

Principales características del cultivo parental de Formosana en relación con Giant Cavendish en Taiwán.

Variedad	Altura de planta (cm)	Bunch Mass (kg)	Hands/bunch	Fingers/bunch	Planting to Harvesting (Months)	Pseudo stem diameter at flowering (cm)
Giant Cavendish	274	21.3	8.5	147	12	73
Formosana	281	30.2	11.5	191	13	82

Comparación de las características de plantas Nandi y Formosana en suelos infectados con Foc TR4 en Mozambique durante 2 ciclos.

Variedad	Plant Height (cm)	Bunch Mass (kg)	Hands/bunch	Planting to Flowering (Weeks)	Planting to Harvesting (Weeks)	Pseudostem diameter at flowering (cm)
*Nandi	207	18.2	6.1	36.9	41.4	53.3
Formosana	263	20.1	6.4	44.2	49.5	57.2

a
Media tomada de Cultivo Parental + Ratoon 1. *Nandi es una selección mejorada del genérico Grand Nain. Datos extraídos de: Viljoen et al., 2020

Tolerancia a la marchitez por *Fusarium*

Las variedades de Cavendish tolerantes han sido una estrategia largamente buscada para controlar el Foc TR4. Los estudios han demostrado que Formosana es significativamente más tolerante al Foc TR4 que las variedades de Cavendish susceptibles, como Williams y Grand Nain.

En Taiwán, Formosana tuvo una incidencia de la enfermedad del 4,3% en el cultivo madre y del 4,1% en el cultivo de retoño. Las cifras correspondientes fueron del 25,5% y el 29,6% para la variedad Giant Cavendish, susceptible a la marchitez.

Variedad	Incidencia media de la enfermedad (%)	
	Parent-crop	Ratoon 1
Giant Cavendish	25.5	29.6
Formosana	4.3	4.1

Fuente: TBRI Annual Report, 2000

En Filipinas, durante un periodo de 4 años, Formosana tuvo una incidencia media de la enfermedad del 6% y Grand Nain de más del 87%.

Variedad	Incidencia media de la enfermedad (%)	Año
Grand Nain	>87	2012-2015
Formosana	8	

Datos recogidos por Lapanday Food Company y Bioversity International, en Filipinas. Fuente: Molina & Fabregar (Datos no publicados).

Directrices generales de cultivo para Formosana

- 1) Formosana es una variedad altamente tolerante al Foc TR4. Presentará síntomas menos graves que las variedades susceptibles cuando se cultiva en condiciones ambientales y de presión de inóculo similares. Es importante que el cultivo de Formosana forme parte de un enfoque integrado de la gestión del Foc TR4.
- 2) Los racimos necesitan un buen apuntalamiento en el campo debido a que las plantas son altas.
- 3) Formosana necesita condiciones óptimas de clima, suelo y manejo para rendir al máximo. No se recomienda en zonas marginales con mal drenaje y riego insuficiente.

CONCLUSIONES

Con el FOC R4T avanzando y afectando más áreas, se necesitará variedades de plantas de banano que son resistentes a este patógeno. Lo que hace la Formosana la variedad ideal, es que es la única variedad que existe en el mundo la cual es probada mundialmente por los siguientes aspectos: alta tolerancia al FOC R4T, aspectos agronómicos como desarrollo y producción y aspectos de mercadeo como la calidad de

la fruta y su aceptación con los consumidores. Esta variedad lleva muchos años en estudio y siendo refinado de acuerdo con las necesidades global. Cuando se compara con las variedades como el William y Grand Nain, la Formosana se destaca en varios aspectos haciendo la planta económicamente superior. Con plantas de meristemo de alta calidad podemos enfrentarnos al R4T y prevenir pérdidas a nivel global.

REFERENCIAS

1. Hwang, S.C.; Ko, W.H. Cavendish banana cultivars resistant to Fusarium wilt acquired through somaclonal variation in taiwan. *Plant Dis.* 2004, 88, 580–588.
2. Molina, A.B.; Sinohin, V.O.; Fabregar, E.G., Ramillete, E.B.; Loayan, M.M.; Chao, C.P. Field resistance of Cavendish somaclonal variants and local banana cultivars to tropical race 4 of Fusarium wilt in the Philippines. *Acta Hort.* 2016, 1114, 227–230.
3. Viljoen, A.; Mostert, D.; Chiconela, T.; Beukes, I.; Fraser, C.; Dwyer, J.; Murray, H.; Amisse, J.; Matabuana, E.L.; Tazan, G.; et al. Occurrence and spread of the banana fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense TR4 in Mozambique. *S. Afr. J. Sci.* 2020, 116, 1–11.

Susceptibilidad de plátanos de consumo tradicional en Colombia frente al marchitamiento de las musáceas provocado por Foc R4T

Sandra Lorena Carmona¹; Rommel Igor Leon-Pacheco¹; Diana Burbano David¹; Juan Camilo Gomez Correa¹; Mauricio Soto Suarez¹; Magda Rocio Gómez Marroquín¹; Gustavo Adolfo Rodríguez Y; Mónica Betancourt Vásquez^{1*}.

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, Mosquera, Cundinamarca.

*Autor de

Correspondencia:

Mónica Betancourt Vásquez
mbetancourt@agrosavia.co

Contribución:

Científico

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Lorena CA, Leon-Pacheco RI, Burbano DD, Gomez CJC, Soto SM, Gómez MMR, Rodríguez YGA y Betancourt VM. 2024.

Susceptibilidad de plátanos de consumo tradicional en Colombia frente al marchitamiento de las musáceas provocado por Foc R4T. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 56
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2456>

RESUMEN

América Latina y el Caribe son la región más importante del mundo en la producción de banano de exportación, pero también es una región en la que los cultivos de plátano son la base de la canasta alimentaria y de la economía campesina y familiar. El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento en condiciones de vivero de materiales tradicionales de plátano de Colombia frente a inoculaciones controladas de *Foc* R4T. Todos los materiales de plátano desarrollaron síntomas de la enfermedad externa e internamente, con porcentajes de severidad de daños del cormo entre 27% y 57% lo que indica la susceptibilidad de los materiales, por lo tanto, la necesidad de implementar medidas de exclusión para proteger los cultivos de plátano a nivel nacional y regional.

Palabras clave: Plátanos, bananos, susceptibilidad, *Foc* R4T, resistencia, Fitosanidad.

ABSTRACT

Latin America and the Caribbean are the most important region in the world in export banana production, but it is also a region in which banana crops are the basis of the food basket and of the peasant and family economy. The objective of this work was to evaluate the behavior in nursery conditions of traditional Colombian banana materials against controlled inoculations of *Foc* TR4. All banana materials developed disease symptoms externally and internally, with corm damage severity percentages between 27% and 57%, indicating the susceptibility of the materials and therefore, the need to implement exclusion measures to protect banana crops at the national and regional level.

Keywords: Plantains, bananas, susceptibility, *Foc* R4T, resistance, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El cultivo de plátano se considera el frutal más importante en Colombia, porque su importancia económica, porque se extiende por todas las regiones del país y porque es la base de la soberanía alimentaria de más de 500.000 familias campesinas. Representa un consumo per cápita de 72 kg/año y el 85% se cultiva en minifundios de entre 1 y 5 hectáreas, representando un producto básico para la subsistencia rural (MADR, 2010). En el país se producen más de cuatro millones de toneladas distribuidas en 434 mil hectáreas que para consumo en fresco y agroindustria.

En el mundo se han evaluado una gran cantidad de cultivares de musáceas contra *Foc R4T*, encontrando resultados variables, por ejemplo, Zuo et al, (2018) de entre 129 cultivares de musáceas entre plátanos y bananos, encontró algunos cultivares con potencial resistencia, mientras otros, incluyendo 12 cultivares con genotipos AAB y ABB, resultaron altamente susceptibles. Por otro lado, Mintoff et al, (2021) describen tres cultivares de plátanos de cocción con respuesta altamente resistente al patógeno durante la evaluación de 24 cultivares, y Zhan et al, (2022) evaluó un grupo de 37 cultivares de plátanos y bananos, observando dos cultivares altamente susceptibles, mientras los demás presentaron resistencia moderada.

El plátano no solamente es importante en Colombia, también se considera base de la seguridad de muchos países de América Latina y el Caribe, lo cual hace importante conocer el comportamiento de este tipo de cultivares frente al patógeno. En este trabajo se evaluaron los materiales tradicionales de plátano Colombianos, frente a *Foc R4T*. Considerando que la base genética de los materiales sembrados en ALC es muy estrecha, los resultados de este trabajo se pueden extrapolar al comportamiento de los materiales que se cultivan en otros países de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Susceptibilidad de plántulas de musáceas en cámara de crecimiento. Se evaluaron tres cultivares de plátanos producidos *in vitro*: Hartón (AAB), Dominico hartón (AAB), Hawaiano (AAB), Williams (AAA), Gros Michel (AAA). Las plántulas se inocularon en inmersión de raíz, durante 15 minutos (García-Bastidas, 2019) y se incubaron a 27 °C; humedad relativa (HR) de 60% y fotoperíodo de 12/12 horas luz/oscuridad. El ensayo se estableció en un arreglo completamente al azar con cinco unidades experimentales por tratamiento (n=5).

Treinta días después de la inoculación (ddi) se evaluaron los síntomas externos con la siguiente escala (Dita et al., 2021): 0= Plantas sin síntomas; 1= Amarillamiento, inicio de pérdida de turgencia en hojas bajas; 2= Amarillamiento, pérdida de turgencia y necrosis en todas las hojas bajas con ligera decoloración en las hojas jóvenes; 3= Todas las hojas con intenso amarillamiento, pérdida de turgencia y epinastia; 4= Planta muerta.

Se calculó el porcentaje del área de cormo afectado (ImageJ 1.45). Se analizó la homogeneidad de varianzas (Shapiro Wilk) y se compararon las medias (LSD de Fischer o Kruskal-Wallis con $\alpha=0.05$). Se extrajo el ADN del rizoma, y se amplificó el marcador W2987 (Li *et al.*, 2013) y se realizó una PCR cuantitativa (qPCR) empleando los cebadores específicos para *Foc* R4T RT_13.16 (Matthews et al., 2020).

Susceptibilidad de plantas de musáceas en vivero. Se evaluaron 10 cultivares de musáceas: Controles: Williams (AAA), Gros Michel (AAA), y materiales en evaluación: Hartón (AAB), Popocho (ABB) y Pelipita (ABB). Las plantas de seis (6) semanas de endurecimiento se trasplantaron e inocularon en drench en bolsas de 1 kg. Se evaluaron los síntomas internos de necrosis en el cormo (Dita et al., 2021), los cuales se evaluaron al momento de la cosecha. Se calculó el área del cormo necrosado, 75 ddi. El diseño experimental fue completamente al azar, con dos repeticiones por tratamiento y cinco plantas por unidad experimental. Se analizó la varianza con una prueba de media de Tukey o por la vía no paramétrica con una prueba de media de Kruskal-Wallis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Susceptibilidad de plántulas de musáceas en condiciones de cámara de crecimiento. Las plantas comenzaron a expresar síntomas 15 ddi, con el amarillamiento de las hojas bajas. En la Figura 1 se puede observar el estado de los síntomas externos, 30 días después de inoculación. En todos los cultivares evaluados, la incidencia alcanzó un 100% en síntomas externos, mientras que la severidad alcanzó un 70% en Williams, 50% en Gros Michel, y 45%, 40% y 30% respectivamente en Hartón, Hawaiano y Dominico hartón (Figura 2A).



Figura 1. Síntomas externos (izquierda) e internos (derecha) de marchitez por Foc R4T en diferentes cultivares susceptibles de musáceas.

En los cortes longitudinales se observó daño severo en el cormo en los cultivares Williams y Gros Michel (Figura 1). Todos los cultivares de plátanos presentaron susceptibilidad a *Foc* R4T, con necrosis en el rizoma. El cultivar Williams presentó un promedio del área afectada de cormo de 57%, siendo la más susceptible, seguida por Hawaiano con 36% y Gros Michel con 35%, Dominico Hartón con 32% y Hartón con 26% (Figura 2B).

Estudios previos realizados en África, Australia y Asia han reportado que los plátanos presentan bajos niveles de enfermedad en comparación con bananos (Gros Michel y Cavendish), tanto en inoculaciones controladas como en ensayos en campo con inóculo natural (Zuo *et al.*, 2018; Mintoff *et al.*, 2021; Zhan *et al.*, 2022).

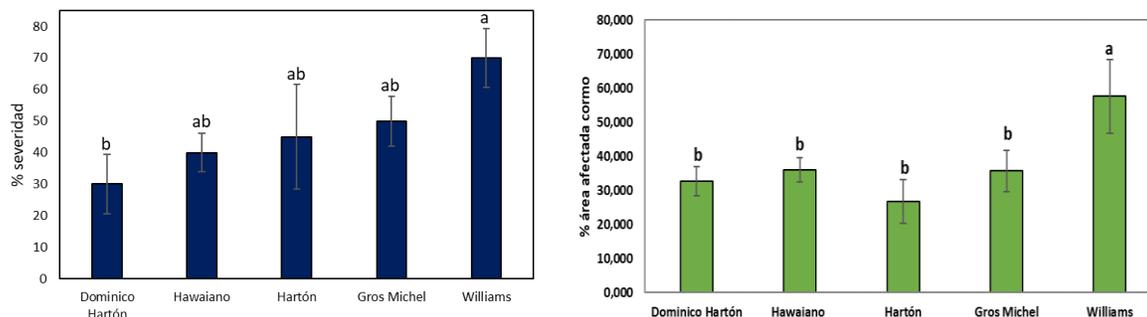


Figura 2. A) Porcentaje de severidad en síntomas externos en plántulas de plátanos inoculados con *Foc* R4T en condiciones controladas; B) Porcentaje de área de cormo afectada por *Foc* R4T, 30 ddi en diferentes cultivares susceptibles. Diferencias significativas (LSD Fischer) con 95% de significancia.

Cuantificación de inóculo en plántulas de musáceas inoculadas en condiciones de cámara de crecimiento. Se analizaron 49 muestras de ADN de plantas inoculadas y no inoculadas. Se detectó el patógeno en el 83% de las muestras inoculadas por PCR convencional. Por PCR cuantitativa, en el 100% de las muestras de tejido infectado se detectó y cuantificó el patógeno. La curva estándar presentó una eficiencia de 101,2% y un coeficiente de correlación (R^2) de 0.994. En el tejido de banano infectado, por cada 0.1 μg de ADN total, el ADN de *Foc* R4T varió entre $4,93 \times 10^{-2}$ y $8,21 \times 10^{-1}$ ng. La mayor concentración se encontró Gros Michel con $8,21 \times 10^{-1}$ ng, seguido por Williams con $2,80 \times 10^{-1}$ ng y Hawaiano con $2,47 \times 10^{-1}$ ng (Figura 3). Por otro lado, los cultivares Dominico hartón y Hartón, presentaron las concentraciones más bajas con $8,97 \times 10^{-2}$ y $4,93 \times 10^{-2}$ ng, respectivamente.

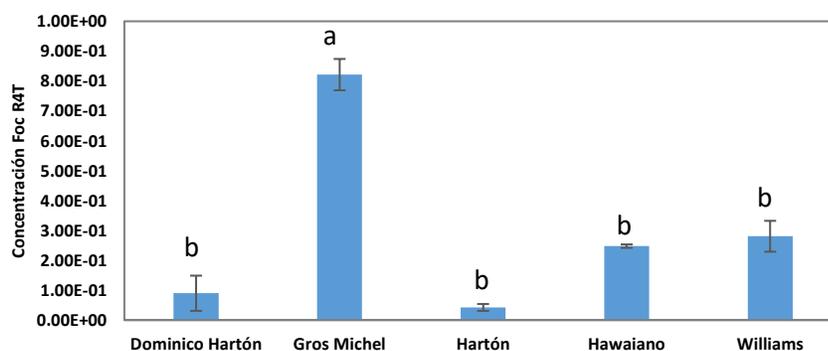


Figura 3. Concentración de ADN de *Foc* R4T (ng por cada 0,1 μg de ADN total) detectada en tejido afectado de plantas de musáceas inoculadas.

Susceptibilidad de plantas de musáceas en condiciones de vivero. Los clones Pelipita y Popocho registraron plantas con síntomas de la enfermedad en un 100 y 87% respectivamente mientras Hartón presentó un 37% de incidencia (Figura 4). Los valores de severidad oscilaron para los tres cultivares entre 34, 31 y 9% respectivamente. Este comportamiento, comparado con el testigo susceptible (Gros Michel) con valores de 100% de incidencia y 43,75% de severidad. Nuestros resultados son similares a los reportados por Chen et al. (2019), en que encontraron comportamiento diferencial entre materiales concluyendo que la resistencia a *Fusarium* es diversa entre los clones, dependiendo de los genomas de cada material (diploide, triploide y tetraploide), así como los diferentes orígenes y especies (*Musa acuminata* ssp. *malaccensis*, *Musa acuminata* ssp. *birmania*, *Musa acuminata* ssp. *banksia*).

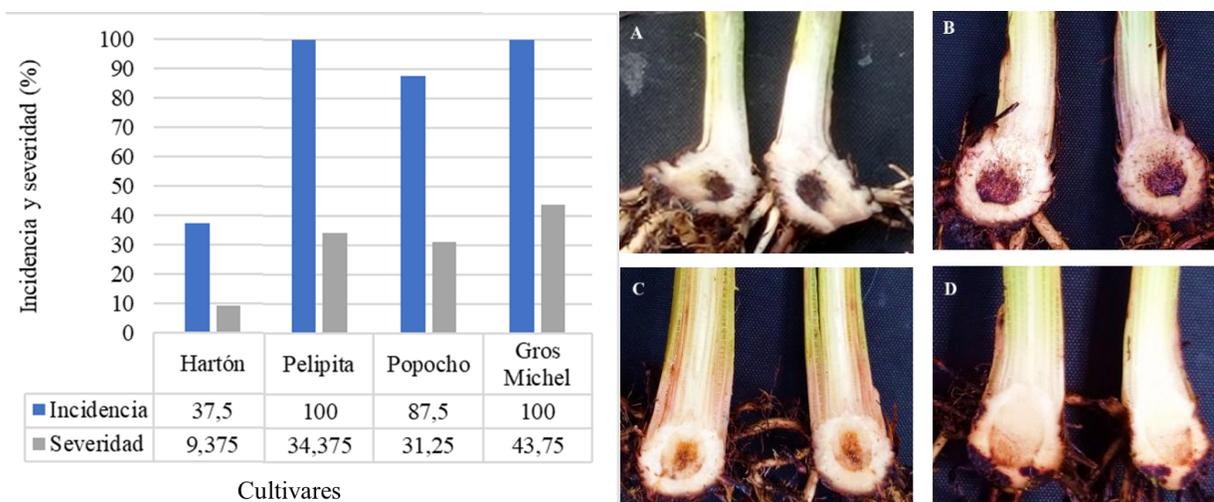


Figura 4. Izquierda: Incidencia y severidad (%) en cuatro clones de musáceas inoculados con *Foc* R4T en condiciones semi-controladas. Derecha: Síntomas de la marchitez de las musáceas en cormos de seis clones de musáceas [A) Gros Michel, B) Pelipita, C) Popocho, D) Hartón,] inoculados con *Foc* R4T en condiciones semi-controladas.

Nuestros resultados coinciden con los reportados previamente en evaluaciones de plátanos frente a *Foc* R4T. Aunque algunos clones de plátano pueden ser tan susceptibles como el cultivar Cavendish (Zhan *et al.*, 2022), en general, los plátanos presentan niveles más bajos de la enfermedad que los bananos Cavendish y Gros Michel (Zhan *et al.*, 2022). Sin embargo, a pesar de que los niveles de la enfermedad en plátanos son más bajos, *Foc* R4T coloniza el rizoma y causa síntomas de la enfermedad, lo que corresponde a una interacción compatible entre la planta y el patógeno (Li *et al.*, 2017).

Con nuestros experimentos podemos afirmar que los plátanos y otros clones de *Musa* tradicionales de Colombia pueden ser infectados por *Foc* R4T, el patógeno coloniza tejidos vasculares y causa síntomas en cormos, aunque los valores de incidencia y severidad son menores en comparación con controles positivos infectados (cultivares Cavendish y Gros Michel).

Con estos resultados, es muy importante mantener todas las medidas necesarias de contención con la finalidad de evitar nuevas incursiones del patógeno en regiones limpias, se recomienda la implementación de estrategias de bioseguridad y manejo sostenible en el tiempo, enfocados a apoyar a los pequeños platanicultores con el objetivo de evitar que la enfermedad afecte la seguridad alimentaria en el país.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo permiten concluir que los plátanos tradicionales colombianos son susceptibles en diferentes grados a *Foc* R4T, y por lo tanto, en todo el país debe mantenerse la estrategia de entre limpio y salga limpio para evitar la dispersión de la enfermedad y la afectación de zonas tradicionales de plátano en Colombia. Agrosavia avanza en ensayos de campo en zonas afectadas de La Guajira para evaluar el comportamiento de los materiales en condiciones de infección natural.

REFERENCIAS

1. Chen, A.; Sun, J.; Matthews, A.; Armas-Egas, L.; Chen, N.; Hamill, S.; Mintoff, S.; Tran-Nguyen, L.T.T.; Batley, J.; Aitken, E.A.B. 2019. Assessing variations in host resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4 in *Musa* species, with a focus on the subtropical race 4. *Front. Microbiol.* 10, 1062.
2. Dita, M., Teixeira, L., Li, C., Zheng, S., O'Neill, W., Daniels, J., Pérez-Vicente, L., Carreel, F., Roussel, V., Carlier, J., Abadie, C., Carpentier, S., Iyyakutty, R., Kissel, E., van Wesemael, J., Chase, R., Tomekpe, K., Roux, N. 2021. Practical guidelines for early screening and field evaluation of banana against *Fusarium* wilt, *Pseudocercospora* leaf spots and drought. *Biodiversity International*. Montpellier, France. 83 p.
3. Li, C. Y., Deng, G. M., Yang, J., Viljoen, A., Jin, Y., Kuang, R. B., ... & Yi, G. J. 2012. Transcriptome profiling of resistant and susceptible Cavendish banana roots following inoculation with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. *BMC genomics*, 13(1), 1-11
4. Li, C. Y., Mostert, G., Zuo, C. W., Beukes, I., Yang, Q. S., Sheng, O., Kuang, R. B., Wei, Y. R., Hu, C. H., Rose, L., Karangwa, P., Yang, J., Deng, G. M., Liu, S. W., Gao, J., Viljoen, A., & Yi, G. J. (2013).

- Diversity and Distribution of the Banana Wilt Pathogen *Fusarium oxysporum* F. Sp. *ubense* in China. *Fungal Genomics & Biology*, 03(02). <https://doi.org/10.4172/2165-8056.1000111>
5. Li, C. Q., Yang, J. H., Li, W. B., Sun, J. B., and Peng, M. 2017. Direct root penetration and rhizome vascular colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* are the key steps in the successful infection of Brazil Cavendish. *Plant Dis.* 101:2073–2078. doi: 10.1094/Pdis-04-17-0467-Re.
 6. Matthews, M. C., Mostert, D., Ndayihanzamaso, P., Rose, L. J., & Viljoen, A. (2020). Quantitative detection of economically important *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* strains in Africa in plants, soil and water. *PloS one*, 15(7), e0236110.
 7. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2010. Acuerdo de Competitividad Cadena Productiva de Plátano 2010-2020. Consejo Nacional de la Cadena de Plátano –CNCP-. Armenia.
 8. Mintoff, S.J.L.; Nguyen, T.V.; Kelly, C.; Cullen, S.; Hearnden, M.; Williams, R.; Daniells, J.W.; Tran-Nguyen, L.T.T. Banana Cultivar Field Screening for Resistance to *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* Tropical Race 4 in the Northern Territory. *J. Fungi* **2021**, 7, 627. <https://doi.org/10.3390/jof7080627>
 9. Zuo, C., Deng, G., Li, B. *et al.* Germplasm screening of *Musa* spp. for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* tropical race 4 (*Foc* TR4). *Eur J Plant Pathol* **151**, 723–734 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1406-3>
 10. Zhan, N.; Kuang, M.; He, W.; Deng, G.; Liu, S.; Li, C.; Roux, N.; Dita, M.; Yi, G.; Sheng, O. Evaluation of Resistance of Banana Genotypes with AAB Genome to *Fusarium* Wilt Tropical Race 4 in China. *J. Fungi* **2022**, 8, 1274. <https://doi.org/10.3390/jof8121274>

Actividad del metam sodio sobre aislamientos de *Ralstonia solanacearum* raza 2, agente causal de Moko en musáceas

Fabiola Alfaro¹; Marylin Sánchez¹; Claudiana Carr^{2*}; Julian Picado²; Juan Delgado³; Ana Tapia⁴; Mario Araya⁵

¹Mycelium Crop Science, ²AMVAC-Costa Rica, ³LIFE-RID AMVAC Costa Rica, ⁴Profesora de Fitopatología jubilada de la Universidad de Costa Rica, ⁵AMVAC Chemical Corporation.

*Autor de

Correspondencia:

Claudiana Carr
claudianac@amvac.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Alfaro F, Sánchez M, Carr C, Picado J, Delgado J, Tapia y Araya M. 2024.

Actividad del metam sodio sobre aislamientos de

Ralstonia solanacearum

raza 2, agente causal de

Moko en musáceas.

Acorbat Revista de

Tecnología y Ciencia 1(1):

57

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2457

RESUMEN

En condiciones controladas se evaluó el metam sodio (Vapam[®] 51 GE-AMVAC) en el control de cuatro aislamientos de *Ralstonia solanacearum* (Filotipo II, Secuevar 6), provenientes de fincas comerciales de banano (*Musa* AAA) en Costa Rica con presencia de Moko. Tubos de ensayo se llenaron con suelo estéril, se inocularon con 500 µL de cada aislamiento a una concentración de 1 x 10⁹ UFC mL⁻¹ y se incubaron por 96 horas a 27°C en oscuridad. Según el tratamiento, a cada tubo se le aplicó una solución de metam sodio a 3000, 5000, 7000 o 10000 mg L⁻¹ más un testigo sin inocular y otro inoculado, se incubaron por 8 días a 27°C en oscuridad. Seis tratamientos con 8 repeticiones se evaluaron en un diseño experimental completamente al azar. Diluciones seriadas, del suelo contenido en los tubos se sembraron en medio de cultivo TZC y se incubaron por 5 días a 27°C en oscuridad. Los resultados mostraron que el metam sodio controló la bacteria a todas las concentraciones evaluadas, inhibiendo el 100% del crecimiento de la bacteria, indistintamente del aislamiento evaluado. En condiciones de campo se sugiere continuar con lo propuesto por la Comisión Nacional de Enfermedades en las Musáceas de Costa Rica de 5000 mg L⁻¹ metam sodio[®].

Palabras clave: fumigación, metam sodio, Moko, *Musa* AAA, Fitosanidad.

ABSTRACT

Under controlled conditions it was evaluated the metam sodium (Vapam[®] 51 GE-AMVAC) on the control of four isolates of *Ralstonia solanacearum* (Phylotype II, Secuevar 6) from commercial banana (*Musa* AAA) farms in Costa Rica with the presence of Moko. Test tubes were filled with 10 g of sterilized soil, inoculated with 500 µL of each isolate at a concentration of 1 x 10⁹ CFU mL⁻¹ and incubated for 96 hours at 27°C in the dark. According to the treatment, each tube was applied with 1 ml of a metam sodium solution at 3000; 5000; 7000 and 10000 mg L⁻¹ plus an uninoculated control and another inoculated one and incubated for 8 days at 27 °C at dark. Six treatments with 8 repetitions were evaluated in a completely randomized design. Serial dilutions from the soil contained in the tubes were sown in TZC culture medium and incubated for 5 days at 27 °C at dark. The results showed that the metam sodium controlled since 3000 mg L⁻¹, inhibiting 100% the growth of the bacteria, regardless of the isolation



evaluated. Under field conditions, it is suggested to continue with what is proposed by the National Commission for Musaceae Diseases of 5000 ppm of metam sodium

Keywords: control, metam sodio, Moko, *Musa* AAA, Vapam, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

Ralstonia solanacearum es considerada una de las bacterias fitopatógenas más importantes del mundo ya que puede afectar a más de 200 especies de plantas, tiene amplia distribución geográfica y hospederos alternos (Álvarez *et al.*, 2015; Blomme *et al.*, 2017). Específicamente, *Ralstonia solanacearum* raza 2, es el agente causal del marchitamiento bacteriano del banano y plátano, conocido como Moko y considerado uno de los problemas fitosanitarios de mayor importancia que afectan a las musáceas en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Dicho patógeno afecta todos los estados de desarrollo de la planta, posee rápida diseminación, alta variabilidad genética y es una enfermedad que incide directamente en la producción, lo que puede provocar disminución de divisas por concepto de exportación, así como disminución de fuentes de empleo y suministro de alimento en lugares donde las musáceas son la base de la alimentación (Belalcázar, 2003; Blomme *et al.*, 2017; Eden-Green, 2019). En Colombia, en Caquetá durante la década del 70 y 80 Moko llegó a afectar hasta un 100% de un total de 20000 ha del cultivo (Belalcázar, 2003).

La presencia de la bacteria provoca síntomas de marchitamiento vascular, la hoja candela detiene su crecimiento e induce un necrosamiento de la misma, las hojas 1-3 se quiebran en el primer tercio y se observa un amarillamiento generalizado que va desde hojas nuevas a viejas, los tejidos y pudriciones no emiten mal olor y la planta llega a morir. A simple vista se pueden observar haces vasculares decolorados en pseudotallo, pseudopeciolo, cormo y raquis; en los frutos se presenta un agrietamiento y pudrición seca (Eden-Green, 2019).

La enfermedad se disemina rápidamente en la plantación por medio de herramientas contaminadas, maquinaria, agua, suelo, material vegetativo e insectos (Blomme *et al.*, 2017; Eden-Green, 2019; Guzmán *et al.*, 2019). Una vez que la enfermedad llega a la plantación es imposible su control por lo que se recurre al confinamiento, prácticas de bioseguridad y técnicas de erradicación. En Costa Rica para su erradicación, se recomienda seguir el protocolo propuesto por la Comisión Nacional de Enfermedades en las Musáceas, donde se avala el uso de fumigantes de suelo como el Dazomet y metam sodio (Guzmán *et al.*, 2019).

En condiciones locales, por muchos años se contuvo la enfermedad. Sin embargo, actualmente existe un aumento de casos de Moko en las fincas bananeras. La presente investigación determinó en condiciones controladas la eficacia del metam sodio, a diferentes concentraciones, sobre cuatro aislamientos de *R. solanacearum* provenientes de diferentes fincas comerciales de banano de Costa Rica, siguiendo la metodología utilizada por Guzmán y Martínez (2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio Mycelium Crop Science (Pococí, Limón, Costa Rica), durante los meses de abril a junio de 2023. La metodología utilizada fue la descrita en el estudio realizado por Guzmán y Martínez (2010). Muestras de pseudotallo y pseudopeciolo con síntomas característicos de Moko se usaron para el aislamiento de la bacteria (Figura 1).



Figura 1. Muestras de pseudotallo y pseudopeciolo con síntomas característicos de Moko, haces vasculares obstruidos y decolorados, provenientes de 4 fincas comerciales de banano. **A)** Finca-1 (MY-PT-38), **B)**, Finca-2 (MY-PT-39), **C)** Finca-3 (MY-PT-40) y **D)** Finca-4 (MY-PT-41).

Segmentos de tejido con síntomas se colocaron en un tubo con agua estéril por 20 minutos, cuando se observaron exudados de la bacteria se procedió a rayar por desgaste con ayuda de un asa bacteriológica, se sellaron las placas e incubaron a 27°C en condiciones de oscuridad. Se utilizó medio de cultivo semi selectivo TZC, se identificaron y purificaron colonias de la bacteria (Figura 2).

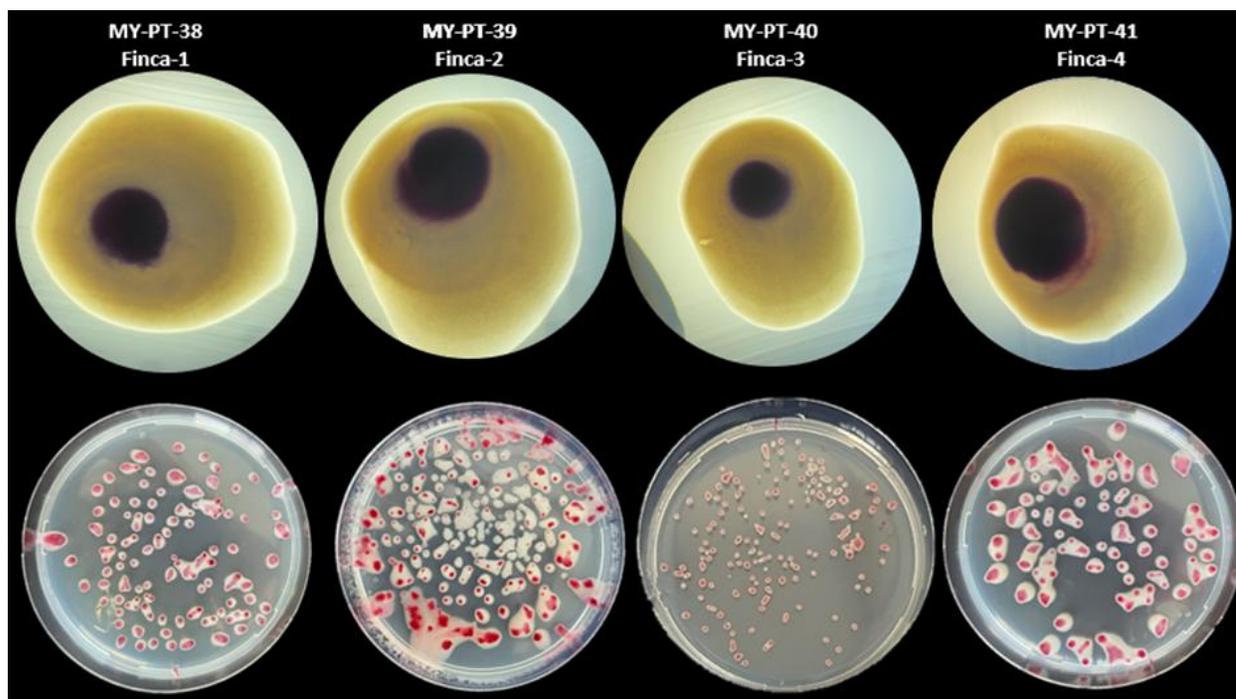


Figura 2. Pureza y morfología de las colonias de los aislamientos de *Ralstonia solanacearum* raza 2 utilizadas. **A.** Finca-1 **B.** Finca-2 **C.** Finca-3 y **D.** Finca-4. Fotografías tomadas con 5 días de incubación a 27°C en medio de cultivo TZC.

Los cultivos puros de la bacteria se enviaron a identificación molecular (Cuadro 1, Figura 3) al laboratorio de Biología Molecular de la Corporación Bananera Nacional CORBANA. Allí se utilizó la técnica de PCR convencional, utilizando el equipo Gene Amp PCR Systems 9700 Applied Biosystems, Macerador RetschMM400 y Mastercycler nexus gradient Eppendorf. Los primers utilizados para la identificación fueron *R. solanacearum* 759/760 (Ito *et al.*, 1998); *R. solanacearum* raza 2 Filotipo II, Secuevares 3, 4 o 6 (Fegan y Prior, 2006).

Cuadro 1. Resultados de los análisis moleculares realizados a los aislamientos provenientes de fincas comerciales. CORBANA, 2023. (+) detectado, (-) no detectado.

Muestra	Finca	Tipo de muestra	Muestra aislada	<i>R. solanacearum</i>	Filotipo II	Secuevar 6
MY-PT-38	1	Cultivo en placa	Pseudotallo	+	+	+
MY-PT-39	2	Cultivo en placa	Pseudopeciolo	-	-	-
MY-PT-40	3	Cultivo en placa	Pseudotallo	+	+	+
MY-PT-41	4	Cultivo en placa	Pseudotallo	+	+	+
MY-PT-39	2	Cultivo en placa	Pseudopeciolo	+	+	+

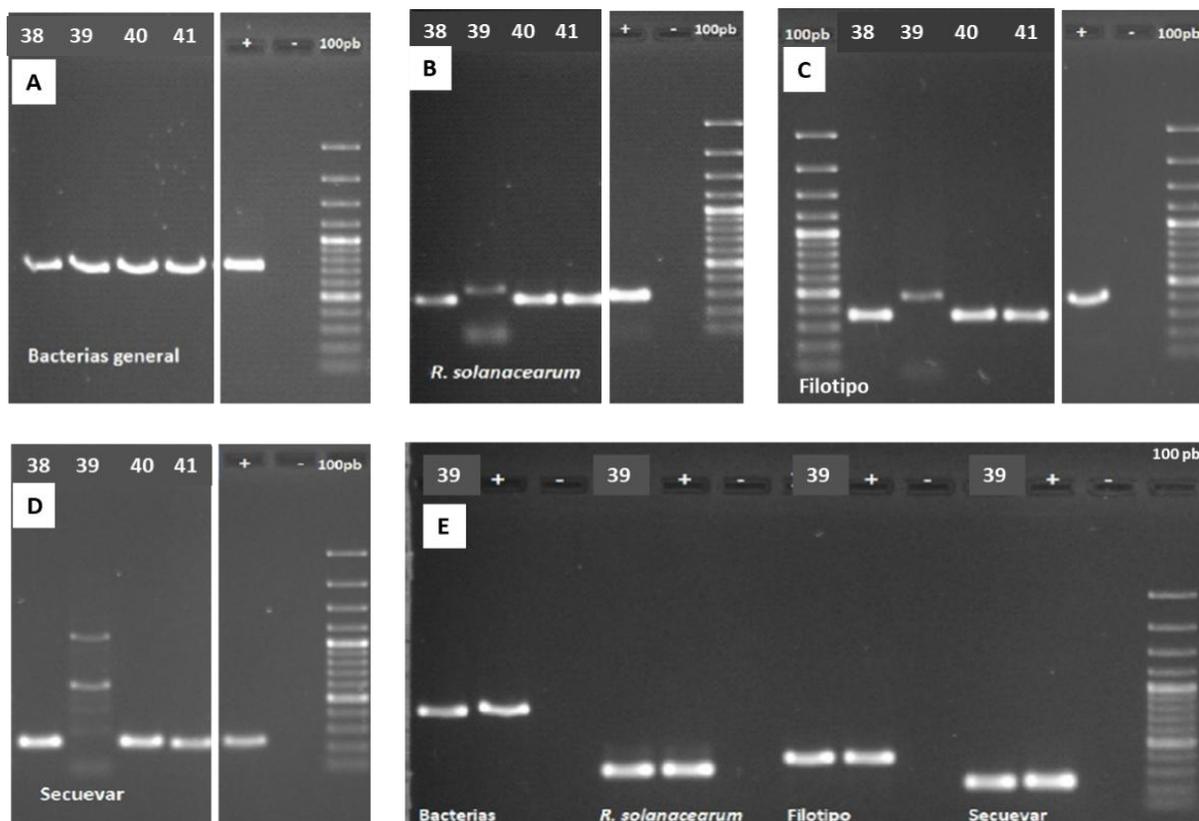


Figura 3. Electroforesis de la identificación molecular de los aislamientos de *Ralstonia solanacearum* raza 2 evaluados. **A.** Identificación de bacterias general fue positiva para los cuatro aislamientos. **B.** Identificación de género y especie *Ralstonia solanacearum*, obsérvese la banda del aislamiento 39 no coincide con el control positivo. **C.** Identificación del filotipo II y **D.** Identificación del secuevar (3, 4 o 6). **E.** Análisis del aislamiento MY-PT-39 muestra 2, donde se observa que amplificó para bacteria, género, especie, filotipo y secuevar correspondiente a la raza 2. En todos los geles el + corresponde al control positivo. Las bandas de los pozos de la derecha corresponden al marcador de peso molecular. Las muestras se consideran positivo sí coinciden con el tamaño de la banda del control positivo.

Se utilizó suelo de los primeros 10 cm del perfil, proveniente de una finca comercial de banano con presencia de la enfermedad (Finca-4). Diez gramos de suelo húmedo se colocaron en tubos de ensayo y se realizó el proceso de esterilización en autoclave a 121°C, 15 libras de presión por 20 minutos.

En condiciones asépticas, se sub cultivaron los aislamientos de *R. solanacearum* en toda la placa de Petri (90 x 15 mm) y se incubaron a 27°C por 24 horas. Posteriormente, se preparó una suspensión bacteriana de cada aislamiento a una concentración de 1×10^9 UFC ml⁻¹. Para esto, se tomó la cuarta parte de una placa de Petri con cultivo activo de cada aislamiento debidamente identificado, se depositó en

un tubo con 10 mL de agua estéril y se realizó una suspensión de 10^{-1} lo que correspondió al inóculo inicial. En condiciones asépticas, se agregaron 500 μL de la respectiva suspensión bacteriana a los tubos con suelo estéril y se incubaron por 96 h a 27°C en condiciones de oscuridad. Se agitó el tubo con el suelo para una distribución homogénea de la bacteria en el suelo.

Se evaluaron 4 aislamientos de *R. solanacearum*, 6 tratamientos y 8 repeticiones, en un diseño completamente al azar, donde cada repetición fue un tubo de ensayo con suelo esterilizado e inoculado con la bacteria previo a la aplicación de los tratamientos. Los tratamientos consistieron en concentraciones de 3000, 5000, 7000 y 10000 mg L^{-1} del metam sodio, un testigo inoculado y otro sin inocular.

En condiciones asépticas y 96 horas después de la inoculación de la bacteria, se aplicó 1 mL de la respectiva concentración de metam sodio a evaluar en cada tubo entomológico, dosis equivalente a 5 L de solución por metro cuadrado, los tubos se taparon, se sellaron con plástico autoadherible e incubaron por 8 días a 27°C en condiciones de oscuridad (Figura 4).



Figura 4. A. Tubos de ensayo con suelo estéril, inoculados con la bacteria y aplicados con el tratamiento respectivo. B. Nótase la humedad del suelo después de haberse aplicado el tratamiento.

Después de aplicados los tratamientos y transcurrido el periodo de incubación, se procedió a realizar diluciones seriadas hasta la 10^{-5} y se inoculó una alícuota de 100 μL en placas de Petri con medio de cultivo TZC (Kelman, 1954), estas se incubaron por 96 horas a 27°C para determinar el efecto del tratamiento sobre el crecimiento de las bacterias inoculadas. Transcurrido el periodo de incubación, se realizó un conteo de

UFC y se calculó la concentración de la bacteria según la dilución sembrada (10^{-3} o 10^{-5}).

Los conteos de UFC se analizaron por medio de una tabla de contingencia 2 x 2, complementado con una prueba de independencia de Chi cuadrado para demostrar que la dosis de metam sodio determina la cantidad de UFC de *R. solanacearum* raza 2. Se realizó una comparación de la concentración de UFC de los aislamientos en los tratamientos testigos, para confirmar que la inoculación, conteos de UFC, fue similar en todos los tratamientos. El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete Stats del programa estadístico R.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las concentraciones de 3000, 5000, 7000 y 10000 mg L⁻¹ de metam sodio inhibieron por completo el crecimiento de la bacteria en el suelo ($P < 0,0001$), 100 % de eficacia en condiciones controladas (cuadro 2 y figura 5). Esto indica que en las unidades experimentales de cada una de las concentraciones evaluadas se inhibió por completo el crecimiento de la bacteria, independientemente del aislamiento evaluado. Esto se ratificó al observar el crecimiento de la bacteria en los testigos inoculados, donde el conteo de UFC varió de 2,20 a $2,72 \times 10^7$ entre los aislamientos. No se observó efecto de dosis, dado que en las diferentes concentraciones la inhibición siempre fue del 100%.

Cuadro 2. Concentración de UFC g⁻¹ de suelo después de la aplicación de los tratamientos tras 7 días de incubación. Cada dato es el promedio de 8 repeticiones (una placa de Petri de cada tubo con suelo).

Trat	Descripción	Dosis (mg L ⁻¹)	Finca-1	Finca-2	Finca-3	Finca-4
			Concentración (UFC g ⁻¹ suelo)			
1	Testigo inoculado		$2,59 \times 10^7$ b	$2,59 \times 10^7$ b	$2,59 \times 10^7$ b	$2,59 \times 10^7$ b
2	Testigo sin inocular		0a	0a	0a	0a
3	Metam sodio	3000	0a	0a	0a	0a
4	Metam sodio	5000	0a	0a	0a	0a
5	Metam sodio	7000	0a	0a	0a	0a
6	Metam sodio	10000	0a	0a	0a	0a

*Probabilidad= $2,2 \times 10^{-16}$ por lo que se considera 0.

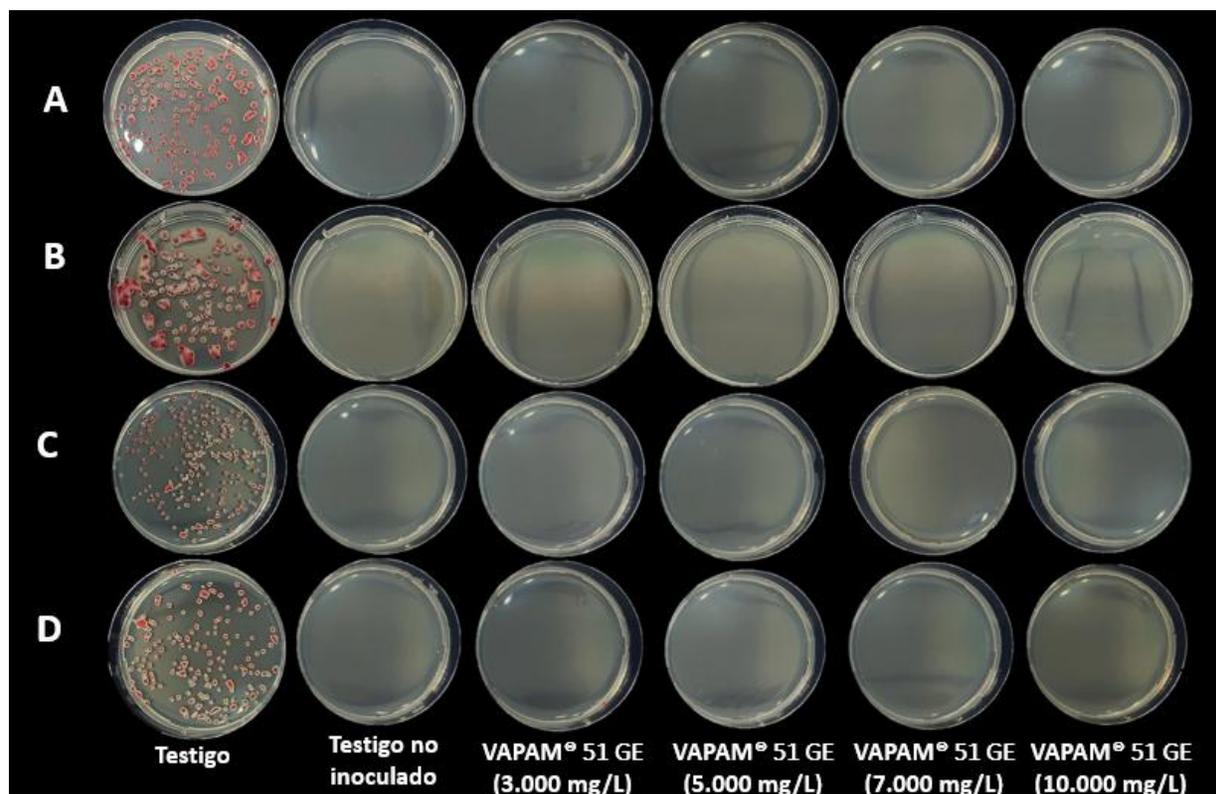


Figura 5. Efecto del metam sodio a 3000, 5000, 7000 y 10000 mg L⁻¹ en el crecimiento de cuatro aislamientos de *Ralstonia solanacearum* tras 7 días de contacto con suelo infectado con la bacteria. Obsérvese en la columna de la izquierda el testigo de la siembra de la dilución de suelo esterilizado, inoculado y sin tratamiento, el crecimiento abundante de UFC de los cuatro aislamientos. La segunda columna corresponde a la siembra de la dilución de suelo esterilizado sin inocular y sin tratamiento, donde no hubo crecimiento de bacteria. En las columnas 3 a 6 corresponde a la siembra de la dilución suelo esterilizado, inoculado y tratado con las diferentes concentraciones de metam sodio, donde se observó inhibición completa del crecimiento de la bacteria. **A.** Aislamiento proveniente de finca-1, **B.** Aislamiento proveniente de finca-2, **C.** Aislamiento proveniente de finca-3 y **D.** Aislamiento proveniente de finca-4.

El control observado con metam sodio en este experimento es congruente con lo reportado por Guzmán y Martínez (2010), quienes evaluaron el metam sodio contenido en el Bunema® 55GE el cual inhibió el 100% del crecimiento de *R. solanacearum* raza 2 a una concentración de 5000 mg L⁻¹.

A pesar de que en condiciones controladas la concentración de 3000 mg L⁻¹ de metam sodio (Vapam 51 GE-AMVAC) evidenció un 100% de inhibición del crecimiento de la bacteria, se sugiere continuar utilizando la concentración de 5000 mgL⁻¹, propuesta por la Comisión Nacional de Enfermedades en las Musáceas, ya que las aplicaciones en campo (deficiente forqueo o floculación de suelo y reducido

volumen de la solución fumigante) pueden generar variaciones en concentraciones que interfieran en el desempeño del producto.

CONCLUSIONES

En condiciones controladas el metam sodio (Vapam 51 GE-AMVAC) logró inhibir por completo el crecimiento de la bacteria a todas las dosis evaluadas. Los resultados corroboran el potencial del producto para ser utilizado en los programas de erradicación de Moko en plantaciones de musáceas.

REFERENCIAS

1. Álvarez E, Pantoja A, Gañán L, Ceballos G. 2015. Current status of Moko disease and Black Sigatoka in Latin America and the Caribbean, and options for managing them. CIAT Publication No. 404, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 40p.
2. Belalcázar S, Rosales FE, Pocasangre LE. 2003. El “Moko” del plátano y banano y el rol de las plantas hospederas en su epidemiología. In: Rivas G; Rosales F, eds. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. Minutes of the workshop on “Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas”, held in Guayaquil, Ecuador, 11–13 August 2003. p 159–179.
3. Blomme, G., Dita, M., Jacobsen, K, Pérez-Vicente, L., Molina, A., Ocimati, W., Poussier, S., Prior, P. 2017. Bacterial diseases of bananas and Enset: current ctate of knowledge and integrated approaches toward sustainable management. *Frontiers in Plant Science* 8: 1290. doi: 10.3389/fpls.2017.01290.
4. Eden-Green, S. J. 2019. Moko bacterial wilt and Bugtok. En: Jones D.R. (ed.). *Diseases of Banana, Abacá and Enset*. CABI publishing, Wallington, UK. Pp. 314-323.
5. Fegan, M., Prior, P. 2006. Diverse members of the *Ralstonia solanacearum* species complex cause bacterial wilts of banana. *Aust. Plant Pathol.* 35: 93–101. doi: 10.1186/s12864-016-2413-z.
6. Guzmán, M., Martínez, I. 2010. Actividad *in vitro* y en suelo de diferentes desinfectantes contra *Ralstonia solanacearum*, agente causal del Moko. Informe anual de investigaciones 2009, CORBANA. Pp: 225-226.
7. Guzmán, M., Sánchez, M., Villalta, R. 2019. Moko o marchitamiento bacteriano del banano y plátano. Hoja divulgativa N° 19, Corporación Bananera Nacional. 2p.
8. Ito, S., Ushijima, Y., Fujii, T., Tanaka, S., KameyaIwaki, M., Yoshiwara, S and Kishi, F. 1998. Detection of viable cells of *Ralstonia solanacearum* in soil using a semi-selective medium and a PCR technique. *J. Phytopathol.* 146: 379-384.
9. Kelman, A. 1954. The relationship of pathogenicity of *Pseudomonas solanacearum* to colony appearance in a tetrazolium medium. *Phytopathology* 44: 693-695.

Eficacia de Biomex Plus para el control de *Erwinia* y contención de Moko en el cultivo de Banano

Hector Franco-Mejía^{1*}; Jorge Silveira-Migueli²

¹Gerente de Nutrición y Especialidades AGROW ECUADOR; ²Representante Internacional OMEX – LATAM.

*Autor de

Correspondencia:

Hector Franco-Mejía
hector.franco@agrowecuador.com

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Franco-Mejía H y Silveira-Migueli J. 2024. Eficacia de Biomex Plus para el control de *Erwinia* y contención de Moko en el cultivo de Banano. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 58
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2458>



RESUMEN

El estudio se centró en evaluar la Eficacia de Biomex Plus contra *Erwinia* y contención de Moko por lo tanto se evaluaron aplicaciones con 2 dosis de control como alternativa de Biocontrol para podredumbre suave del dedo (*Erwinia carotovora*) en banano. Una dosis de 1.5 L tuvieron 85% de control de la bacteria a los 85 días de aplicación. En cambio, la dosis de 2 L tuvo registraron 94 – 97% de eficacia a los 80 días de aplicación. En otro ensayo in vitro de Biomex plus se aplicaron 4 dosis a diferentes concentraciones tuvo un mayor efecto de contención sobre Moko (*Ralstonia solanacearum*) a los 7 días de aplicación a las dosis de 3 y 4 litros. En el enfrentamiento dual entre el aislado bacteriano del producto (BIOMEX) y la cepa de *R. solanacearum* se observó una disminución del crecimiento del patógeno hasta una distancia de 1.7 ±0.1 cm.

Palabras clave: *Musa* spp., enfermedades bacterianas, Biocontrol, Fitosanidad.

ABSTRACT

The study focused on evaluating the effectiveness of Biomex Plus against *Erwinia* and Moko containment, therefore applications with 2 control doses were evaluated as a Biocontrol alternative for soft finger rot (*Erwinia carotovora*) in banana. A dose of 1.5 L had 85% control of the bacteria after 85 days of application. On the other hand, the 2 L dose had 94 – 97% efficacy after 80 days of application. In another in vitro trial of Biomex plus, 4 doses were applied at different concentrations, it had a greater containment effect on Moko (*Ralstonia solanacearum*) after 7 days of application at doses of 3 and 4 liters. In the dual confrontation between the bacterial isolate of the product (BIOMEX) and the *R. solanacearum* strain, a decrease in the growth of the pathogen was observed up to a distance of 1.7 ±0.1 cm.

Keywords: *Musa* spp., bacterial diseases, Biocontrol, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es el primer exportador mundial de banano, posee una mayor cantidad de hectáreas sembradas con fines de exportación, se puede constatar que el país contiene una menor cantidad de productividad en relación con los otros países como Colombia, Costa Rica, Guatemala y Filipinas, pero sin embargo por la cantidad de hectáreas cultivadas es el mayor productor en el mundo (León - Ajilla, *et al.*, 2023).

El Ecuador es considerado como líder en la producción y exportación de banano a nivel global, en el año 2022 de enero a noviembre de acuerdo con la Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (2022), el país exportó 234,42 millones de cajas de banano, de esa cifra la Unión Europea abarca el 26,67 % de participación de las exportaciones globales, posicionándose como principal destino de exportación.

Las principales provincias ecuatorianas productoras de banano son, Guayas, El Oro y Los Ríos donde se concentran respectivamente el 34%, 41% y 16% de los sectores industriales más importantes del país, siendo El Oro la provincia, la región donde se ubican gran cantidad de pequeños productores bananeros país (42%), y los grandes empresarios del sector se ubican mayoritariamente en Guayas y Los Ríos (MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR, 2017).

Desde hace varios años se viene observando en el cultivo de banano a nivel de pseudotallo síntomas de pudrición, las cuales son ocasionadas por la presencia de *Erwinia* sp., que se distribuye en todas las áreas bananeras causando daños en el cultivo, por lo que representa uno de los principales problemas fitosanitarios para las empresas bananeras. Este patógeno genera pérdida del vigor, menor diámetro del pseudotallo, colapso y muertes de plantas (Mendoza - Benitez & Aolórzano-Acosta, 2021).

La pudrición suave del dedo es una enfermedad precosecha del fruto de banano, puede causar severas pérdidas en producción. El agente causal es la bacteria *Dickeya dadantii*, la cual es un habitante natural en las plantaciones bananeras (Guzmán et al. 2017). Existen informes de la presencia de la enfermedad en Centroamérica y el Caribe desde los años 1960's, aunque en baja incidencia. A partir de 1994, la enfermedad cobró relevancia en las plantaciones de banano de Costa Rica, muy relacionado con la implementación de la práctica de desflora en el campo y la renovación de plantaciones. Dichos factores contribuyen con la diseminación del patógeno y generan condiciones ecológicas muy favorables para el desarrollo de la enfermedad (Villalta, Guzmán, & Sánchez, 2019).

Cuando se habla de amenazas en la industria bananera, la preocupación se centra en la inminente y temible llegada del letal fusarium, pero poco se habla del moko, una enfermedad igual de devastadora, que de forma silente ha venido radicándose en los cultivos de la fruta, estos focos infecciosos ya se han reportado en plantaciones de 12 provincias (Zumba, 2022).

Del mismo estudio Zumba (2022) expresa que Fitopatólogos califican al Moko o marchitamiento bacterial como uno de los problemas fitosanitarios de gran impacto económico en los cultivos de banano y plátano de las zonas tropicales y subtropicales del mundo. En Ecuador se detectó por primera vez en 1978 en la Amazonía (Napo). Estas problemáticas bacterianas hacen necesario buscar alternativas de control que permitan disminuir las poblaciones bacterianas en el cultivo de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Ensayo. Para evaluar la Eficacia de Biomex Plus contra *Erwinia* los trabajos de investigación se realizaron en haciendas de banano (*Musa* AAA, Subgrupo Cavendish) variedad "Gran Enano" de la zona Guayas que tenían incidencia de hasta 26% de merma lo cual provocaba perdidas de rendimiento, además se instalaron otros trabajos en la zona Quevedo que tenían hasta 40% de merma de fruta. En el caso de la evaluación de la Eficacia de Biomex Plus para la contención de Moko se realizó una actividad antagonista de *Bacillus amyloliquefaciens* sobre *Ralstonia solanacearum*

Análisis de Laboratorio. En caso de pruebas de laboratorio, adquirir material necesario, como pipetas, placas de Petri, microscopios, y otros equipos según las necesidades específicas.

Selección y Preparación de Áreas de Ensayo. Identificar parcelas con infección confirmada de *Erwinia* y Moko. Preparar estas áreas para los ensayos, considerando la homogeneidad del suelo y otras condiciones ambientales.

Tratamientos con Biomex Plus. Establecer grupos de ensayo y control. Aplicar Biomex Plus según las dosificaciones recomendadas y el cronograma establecido.

Muestreo de Plantas y Suelo. Realizar muestreos periódicos de plantas y suelo para evaluar la presencia de *Erwinia* y Moko. Puedes utilizar técnicas como hisopos estériles, análisis de suelo, y otras según sea necesario.

Análisis Microbiológico. Para evaluar la eficacia contra *Erwinia*, realizar análisis microbiológicos de las muestras recolectadas. Esto podría incluir técnicas de tinción y cultivo bacteriano.

Diagnóstico de Moko. Para evaluar la contención de Moko, realizar diagnósticos específicos para *Ralstonia solanacearum*. Esto podría implicar técnicas de PCR u otras pruebas moleculares.

Registro de Datos. Mantener un registro detallado de todos los tratamientos, fechas de aplicación, resultados de muestreo, y cualquier observación relevante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de *Erwinia* en Zona Quevedo. A los 85 días de la aplicación del tratamiento de Biomex evaluados registraron un control muy bueno de la bacteria mostrando un 85% a 95% de control (Figura 1). El control observado hasta los 120 días se atribuye al efecto de los antibióticos que genera Biomex plus.

Evaluación de *Erwinia* Zona Fumisa A los 63 días de aplicación del tratamiento con Biomex plus tuvieron una reducción de plantas infectadas del 68% y a los 77 días una reducción del 97% de plantas afectadas y continúa su efecto hasta los 110 días después de la aplicación. Lo cual se demuestra en la Figura 2.

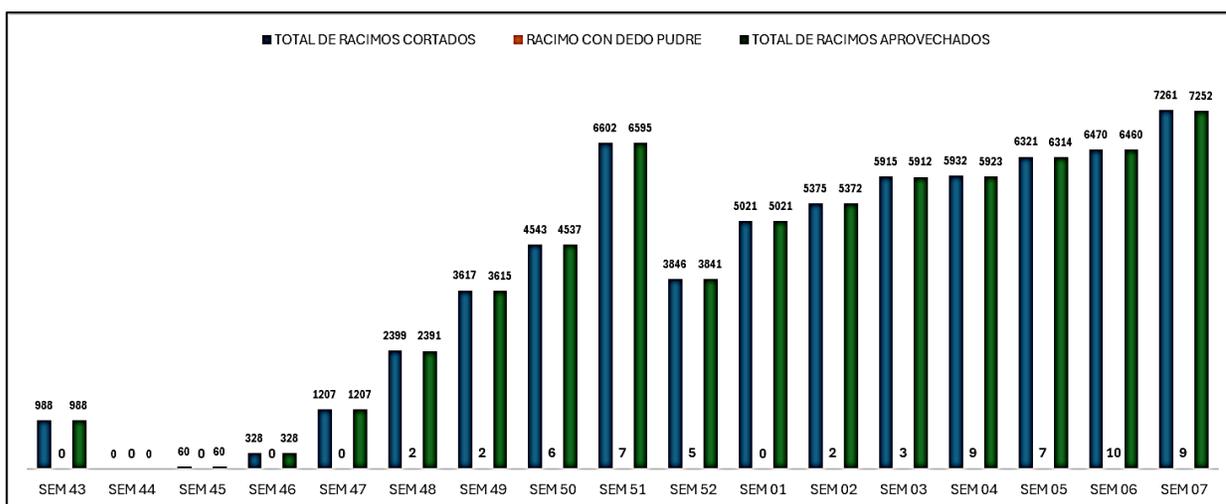


Figura 1. Total de racimos aprovechados en 200 hectáreas de plantilla Gran Enano con la aplicación de Biomex plus.

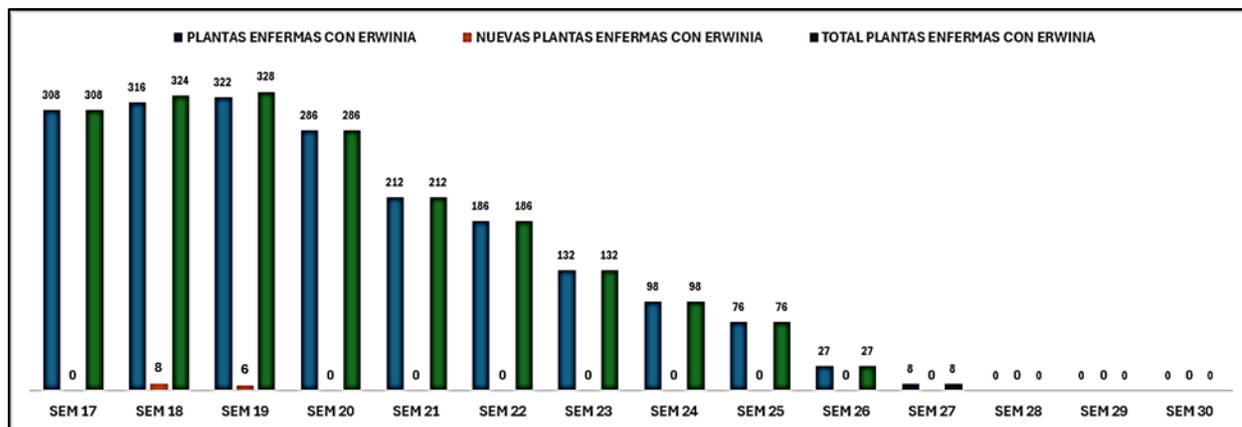


Figura 2. Reducción de plantas afectadas por *Erwinia* en la Zona de Fumisa.

CONCLUSIONES

Estos resultados demuestran que con la aplicación de Biomex plus es suficiente para tener un control eficiente de *Erwinia* durante 3.5 meses reduciendo la merma hasta un 40%. Se realizaron aplicaciones con motobomba y avioneta donde se logró obtener controles adecuados de *Erwinia* tanto en racimos como en plantas afectadas logrando obtener controles por arriba del 90%.

Mientras que en Moco en la prueba de inhibición entre el producto líquido BIOMEX y la cepa de *R. solanacearum* se observó una inhibición del crecimiento del patógeno alrededor del pocillo con el producto a una distancia de 0.7 ± 0.1 cm en la concentración más baja (dilución 1 en 100L), y 1.1 ± 0.1 cm en la concentración más alta (dilución 4 en 100L).

REFERENCIAS

1. León Ajilla, J., Espinosa Aguilar, M., Carvajal Romero, H., & Quezada Campoverde, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. 7494.
2. Mendoza - Benitez, A., & Aolórzano-Acosta, A. (2021). Eficacia del producto Salix Su en el control de *Erwinia* Sp. en el cultivo de banano. *ECOFERTILIZING*.
3. MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR. (2017). Informe Sector Bananero Ecuatoriano.
4. Villalta, R., Guzmán, M., & Sánchez, M. (2019). Pudrición suave del dedo de banano. *Corbana*.
5. Zumba, L. (13 de 02 de 2022). El moko del banano: una amenaza silenciosa. Obtenido de <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/moko-banano-amenaza-silenciosa-121561.html>

Reducción de la tasa fotosintética en hojas de banano (*Musa* AAA cv Grande Naine) inoculadas con *Radopholus similis*

Andrés Castillo¹, Ricardo Astúa², Rebecca Madrigal², Walter Jiménez², Juan Delgado¹, Eduardo Salas³, Mario Araya^{4*}

¹LIFE-RID AMVAC-Costa Rica, ²MONRERI-Costa Rica, ³Catedrático Universidad Nacional, Escuela Ciencias Agrarias-Costa Rica, ⁴AMVAC Chemical Corporation

*Autor de

Correspondencia:

Mario Araya
marioa@amvac.com

Contribución:

Científico

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Castillo A, Astúa R, Madrigal R, Jiménez W, Delgado J, Salas E y Araya M. 2024. Reducción de la tasa fotosintética en hojas de banano (*Musa* AAA cv Grande Naine) inoculadas con *Radopholus similis*.

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1):

59

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2459

RESUMEN

En un diseño completamente al azar, se determinó el efecto de *Radopholus similis* sobre la fotosíntesis de las hojas de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine). Plantas *in vitro* se sembraron en macetas de 1,8 L de volumen que contenían suelo bananero (esterilizado o sin esterilizar). Se evaluaron tres tratamientos, dos en suelo esterilizado, uno fue inoculado con 2000 (2078 ± 63) *R. similis* por maceta, 21 días después de la siembra, y el otro no, y otro tratamiento en suelo no esterilizado y sin inoculación. Antes de la inoculación, se encontró una reducción ($P= 0,0072$) del 33% en la tasa de asimilación neta acumulada a lo largo de la secuencia de puntos de luz ($0-2200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en las plantas cultivadas en suelo bananero sin esterilizar, que resultaron infectadas con *R. similis* residual en el suelo. La curva de la tasa de asimilación neta a los 4 ($P < 0,0001$), 11 ($P= 0,0340$) y 25 ($P= 0,0127$) días después de la inoculación, fue mayor en las plantas libres de nematodos. La infección o parasitismo de las raíces del banano por *R. similis*, independientemente de si hay síntomas evidentes en raíces y follaje, consistentemente reduce su fotosíntesis, lo que a largo del ciclo reducirá el rendimiento del cultivo.

Palabras clave: fotosíntesis, *Musa* AAA, nematodos, Fitosanidad.

ABSTRACT

In a completely randomized design, the effect of *Radopholus similis* on banana (*Musa* AAA cv. Grande Naine) leaf photosynthesis was determined. *In vitro* plants were planted in pot of 1,8 L volume containing a sterilized or unsterilized soil from a commercial banana farm. Three treatments were evaluated, two were planted in sterilized banana soil, one inoculated with 2000 (2078 ± 63) *R. similis* per pot, 21 days after planting, and the other had no inoculation and the remaining treatment in unsterilized soil without inoculation. Before inoculation, a reduction ($P= 0.0072$) of 33% in the accumulated net assimilation rate across the sequence of light points ($0-2200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) was found in the plants cultivated in non-sterilization soil, that got infected with residual *R. similis* on the soil. The net assimilation rate curve at 4 ($P < 0.0001$), 11 ($P= 0.0340$) and 25 ($P= 0.0127$) days after nematode inoculation was higher on the plants free of nematodes. Infection or parasitism of banana roots by *R. similis*,



independently of if there are obvious root and foliage symptoms, consistently it reduces their photosynthesis rate, which in a long term will reduce crop performance.

Keywords: *Musa* AAA, nematodes, photosynthesis, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los factores bióticos que afectan la producción de banano se encuentran las plagas del sistema radical donde se incluyen picudo (*Cosmopolites sordidus*), *Phyllophaga* spp., cochinilla (*Pseudococcus elisae*, *Dysmicoccus brevipes*) y los nematodos. Dentro de los nematodos, *Radopholus similis* (Cobb 1893, Thorne 1949, Sher 1968) es el más abundante y frecuente, de hábito endoparásito migratorio obligado que causa pérdidas en producción en las regiones donde se cultiva el banano alrededor del mundo (Chávez et al. 2020, Jaramillo et al. 2019, Sikora et al. 2018). En áreas de África infestadas de nematodos, se han reportado pérdidas de más del 75% (Sarah 1989) y las respuestas en rendimiento en áreas con control de nematodos en diferentes países varían entre 38 y 376% (Gowen 1995). Según Niblack (1993), si bien se producen grandes pérdidas de rendimiento en cultivos susceptibles con síntomas visibles de daño con un alto número de nematodos, muchas veces pueden ocurrir pérdidas de rendimiento de hasta el 30% sin síntomas evidentes.

En banano el daño se localiza en las raíces y el cormo. *Radopholus similis* ingresa a las raíces y se alimenta periódicamente a medida que migra a través del tejido. La migración intracelular y la alimentación prolongada provocan destrucción del tejido radical. La infección por este nematodo produce lesiones de color café rojizo oscuro en la epidermis, que penetra a lo largo de la corteza y rara vez hasta el cilindro vascular. Las lesiones adyacentes pueden fusionarse y el tejido de la raíz se atrofia y necrosa. La alimentación del nematodo y las actividades de migración dentro de las raíces dañan la epidermis, la corteza y el cilindro vascular, lo que altera la absorción y el transporte de agua y nutrientes. Se retarda la emisión foliar, las plantas se muestran atrofiadas y cloróticas, con un alargamiento de la fase vegetativa (Sikora et al. 2018, Quénéhervé 2009), que termina en reducción del peso del racimo, productividad y longevidad de la planta.

Estas observaciones se han hecho en síntomas morfológicos bastante obvios. Sin embargo, el parasitismo por nematodos se relaciona primero con cambios fisiológicos que afectan el proceso fotosintético (Hussey y Williamson, 1998, Wallace 1987). Goulart et al. (2019) trabajando con plántulas de café infectadas con *M. exigua* o *M.*

paranaensis encontraron alteraciones en la fisiología de la planta como reducción en la transpiración, conductancia estomática, concentración de CO₂ y en la tasa fotosintética.

Información sobre los efectos del parasitismo de *R. similis* en los procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, que determinan la tasa de crecimiento del banano, puede contribuir a comprender las diferencias en el rendimiento. Por lo tanto, el objetivo fue estudiar el efecto de poblacionales iniciales de *R. similis* en la fotosíntesis de la hoja de banano. La fotosíntesis se midió en plantas infectadas y no infectadas, tanto antes como después de la invasión por *R. similis* en plantas de banano (*Musa* AAA cv Grande Naine) cultivadas en macetas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Plantas de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine) fueron micropropagadas *in vitro* y luego de 55-60 días en bandeja, las plántulas fueron trasplantadas a maceteros plásticos de 1,8 L de volumen con cinco orificios de 1 cm-diámetro en el fondo para facilitar su drenaje. Dichos maceteros se ubicaron bajo condiciones de invernadero a temperatura ambiente de 24-26 °C y una humedad relativa de aproximadamente 80-90 %. Los maceteros se llenaron con suelo esterilizado o sin esterilizar de una finca comercial de banano infestada de nematodos que aplica para su control dos ciclos de nematicida químico por año. El suelo contenía 2,03% de materia orgánica, con pH de 5,5 y un contenido de bases de Ca 4,3; Mg 1,31 y K 0,56 cmol (+) L⁻¹ y de P 29; Fe 71; Cu 7; Zn 2,5 y Mn 83 mg L⁻¹. El suelo fue franco arenoso (arena 56%, arcilla 15% y limo 29%). La porción de suelo que se esterilizó, después de tamizarlo (criba 2 mm-No 10) se colocó en bandejas de 5 cm de alto, se humedeció y se metió a Autoclave (Tomin TM-322) durante 1 hora a 120 °C. Las plantas se fertilizaron dos veces por semana con la aplicación de 100 ml de solución (1 L de agua + 5 ml de Bayfolan Forte) al suelo, y un día antes de la evaluación de la fotosíntesis, se irrigaron con 100 ml de agua potable.

Se evaluaron tres tratamientos. Las plantas de dos tratamientos se sembraron en suelo esterilizado que fue inoculado o no con *R. similis*. En el otro tratamiento, las plantas se cultivaron en suelo no esterilizado, sin inoculación del nematodo. Cada tratamiento con 10 repeticiones y las macetas se dispusieron en un diseño completamente al azar. La población de *R. similis* utilizada para la inoculación se obtuvo originalmente de las raíces de plantas de banano de una finca comercial que después de ser identificados bajo el microscopio-estereoscópico, se inoculó una sola

hembra adulta en cada uno de 30 discos de zanahoria esterilizados para su reproducción. Sesenta días después, se extrajo cada población de *R. similis* de los discos de zanahoria y se identificó el nematodo bajo el microscopio óptico. Luego, se extrajo ADN de cinco muestras compuestas de aproximadamente 50 nematodos cada una, de cada población, y se amplificó con imprimadores PCR-específicos (FsimFIRsimR) que confirmaron la identidad del nematodo como *R. similis*. Entonces, los *R. similis* de estas poblaciones se multiplicaron en discos de zanahoria para la inoculación.

Antes de la inoculación, la superficie del suelo en cada maceta individual se humedeció con 50 mL de agua destilada y luego se hicieron cinco orificios de 1 cm de diámetro y 2 cm de profundidad a 1,5 cm de la base del pseudotallo. La población inicial de *R. similis* se estimó a partir de cinco alícuotas de 2 ml. Los *R. similis* se pipetearon como una suspensión acuosa, luego se cubrieron los agujeros con la misma tierra y se aplicaron nuevamente 50 ml de agua. Durante la inoculación se realizaron otros 5 conteos para confirmar la cantidad inoculada. La inoculación del nematodo se realizó a los 21 días después de la siembra de las plantas con 2000 (2078 ± 63) *R. similis* por maceta.

La curva de respuesta a la luz fotosintética se evaluó el día antes de la inoculación del nematodo y luego a los 4, 11 y 25 días después de la inoculación a la misma hora. La fotosíntesis se midió con un LI-6800 (LICOR Environmental Sciences) portátil. El equipo se configuró con una apertura foliar de 9 cm², 420 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹, 600 mmol m⁻² s⁻¹ de flujo de aire, 30°C de temperatura foliar y se mantuvo la humedad relativa ambiental. La porción apical de la segunda hoja más joven de cada planta se utilizó como indicador del potencial fotosintético de la planta, siendo una hoja joven completamente expandida e iluminada para plantas desarrolladas en macetas en condiciones de invernadero. Las evaluaciones de la fotosíntesis se realizaron de manera consistente, primero una repetición (una planta) de cada tratamiento, luego la segunda réplica de cada tratamiento, y así sucesivamente. Se utilizó el programa automático con niveles decrecientes de radiación fotosintética activa (PAR), conocidos como curvas de respuesta a la luz. Cada planta se aclimató con 800 μmol de fotones m⁻² s⁻¹ antes del inicio de la curva de luz. La secuencia de puntos de luz fue la siguiente: 2200, 1900, 1600, 1300, 1000, 700, 400, 100, 75, 50, 25 y 0 mmol de fotones m⁻² s⁻¹. Las curvas de luz se midieron de 7 a 10 am.

Después de la última evaluación de fotosíntesis las plantas fueron removidas de las macetas. Para ello, cada maceta fue presionada en el centro para aflojar el suelo y con la aplicación de agua a baja presión se extrajo la planta. Se lavó las raíces y se separaron del follaje (cormo + tallo + hojas). En una romana electrónica con capacidad

de $6 \text{ kg} \pm 1 \text{ g}$ se registró el peso individual del follaje y raíces por planta. Las raíces de cada planta fueron cortadas en segmentos de 1,5 - 2 cm de largo se homogeneizaron y 25 g o la cantidad disponible, fueron seleccionados para la extracción de los nemátodos siguiendo el método de licuado y tamizado. Las poblaciones de nemátodos se expresan por 100 g de raíces. Los datos de raíces y follaje se sometieron a un ANOVA y separación de medias por LSD en PC-SAS. El número de nemátodos se sometió a un análisis con modelo lineal generalizado que utilizó la transformación logarítmica y la distribución binomial negativa de los residuos en GemMod de SAS. Las medias de tratamientos se compararon con LSD-test. Los datos de la curva de respuesta a la luz e intercambio de gases registrados en la hoja de Excel del LICOR fueron analizados utilizando el software Infostat v. 2018. El área bajo la curva de respuesta a la luz se calculó y comparó por ANOVA o prueba T y en cada nivel de radiación se realizó una prueba T.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un mayor peso de raíces ($P < 0,0001$) y de follaje ($P < 0,0001$) se encontró en las plantas cultivadas en suelo de banano esterilizado sin inoculación de *R. similis* con 48 y 154 g por planta, respectivamente (Figura 1A-B). La diferencia fue inducida por el menor peso encontrado en las plantas cultivadas en suelo de banano esterilizado que fueron inoculadas con 2000 (2078 ± 63) *R. similis* que presentaron 29 g de raíces y por los 106 g de follaje por planta registrado en las plantas cultivadas en suelo de banano no esterilizado sin inoculación. La inoculación con *R. similis* infectó las plantas de banano (Figura 1C). Las plantas no inoculadas cultivadas en suelo de banano esterilizado estuvieron libres de nemátodos, mientras que en las inoculadas con 2000 (2078 ± 63) *R. similis*, la población alcanzó 50758 *R. similis* / 100 g de raíces por planta ($P = 0,0007$).

La curva de la tasa de asimilación neta antes de la inoculación de *R. similis* difirió ($P = 0,0072$) entre los tratamientos. Se encontró una reducción del 33% en la tasa de asimilación neta acumulada a lo largo de la secuencia de puntos de luz ($0-2200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) de las plantas cultivadas en suelo de banano sin esterilizar, en comparación con aquellas plantas en suelo de banano esterilizado sin inoculación (Figura 2A). Entonces, estas plantas se infectaron con *R. similis* residual en el suelo, como se confirmó al final del experimento, donde esas plantas alcanzaron 23733 individuos por cada 100 g de raíces por planta. La curva de la tasa de asimilación neta a los 4 ($P < 0,0001$), 11 ($P = 0,0340$) y 25 ($P = 0,0127$) días después de la inoculación del nematodo fue mayor en las plantas libres de nemátodos (Figura 2B-D). Cuatro días después de la inoculación de *R. similis*, se observó una reducción entre 12 y 29% en las plantas cultivadas en suelo de

banano no esterilizado con radiación fotosintética activa entre 100 y 2200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Las plantas cultivadas en suelo de banano esterilizado que fueron inoculadas con 2000 (2078 ± 63) *R. similis*, mostraron una reducción de la tasa de asimilación neta entre 17 y 28% y entre 15 y 29% a radiación fotosintética activa entre 400 y 2200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a los 11 y 25 días después de la inoculación, respectivamente. En las plantas cultivadas en suelo de banano no esterilizado, la reducción a los 11 y 25 días después de la inoculación fue de entre 8 y 19% y entre 5 y 30% con radiación fotosintética activa entre 400 y 2200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente.

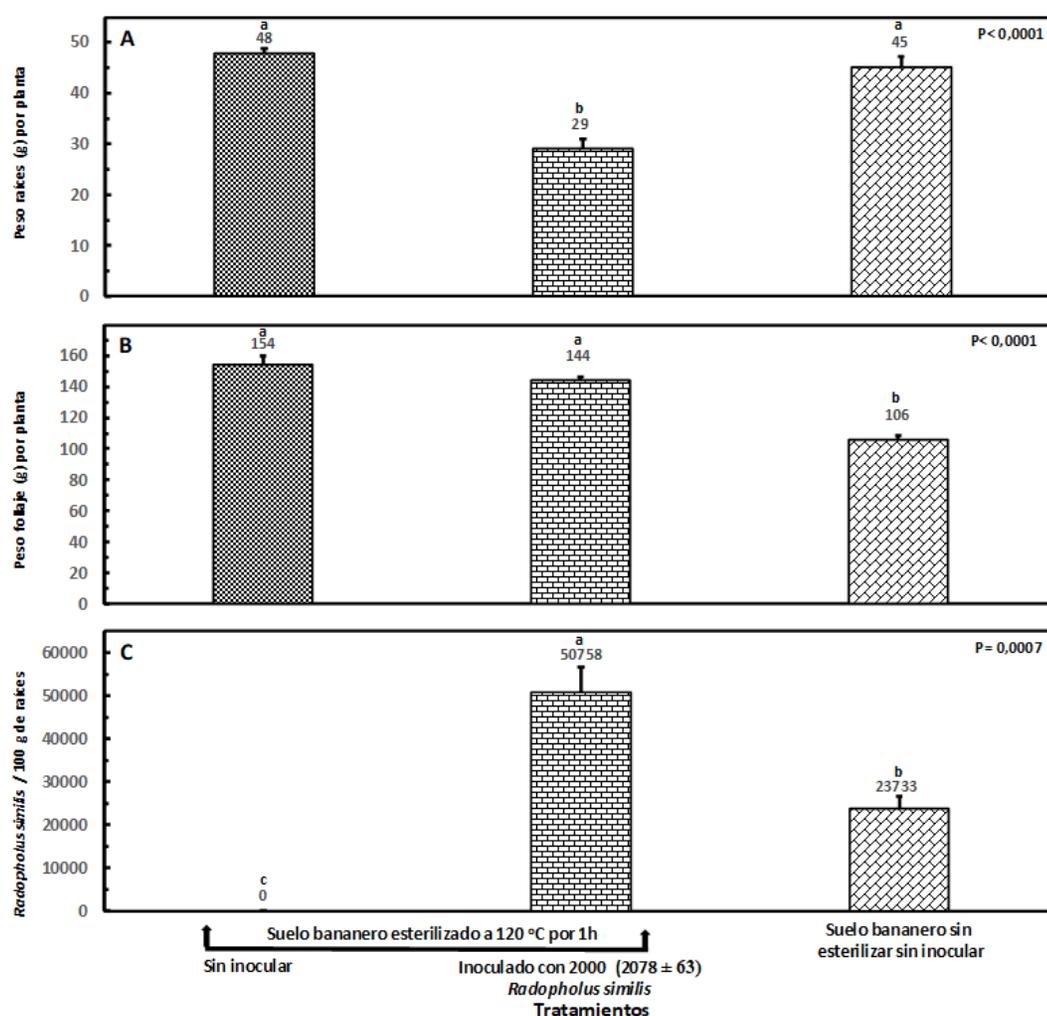


Figura 1. A-C. Peso de raíces y follaje (g) por planta y número de *Radopholus similis* por 100 g de raíces de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine) por planta 25 días después de la inoculación o no con 2000 (2078 ± 63) *Radopholus similis*. Cada barra es la media \pm error estándar de 10 repeticiones.

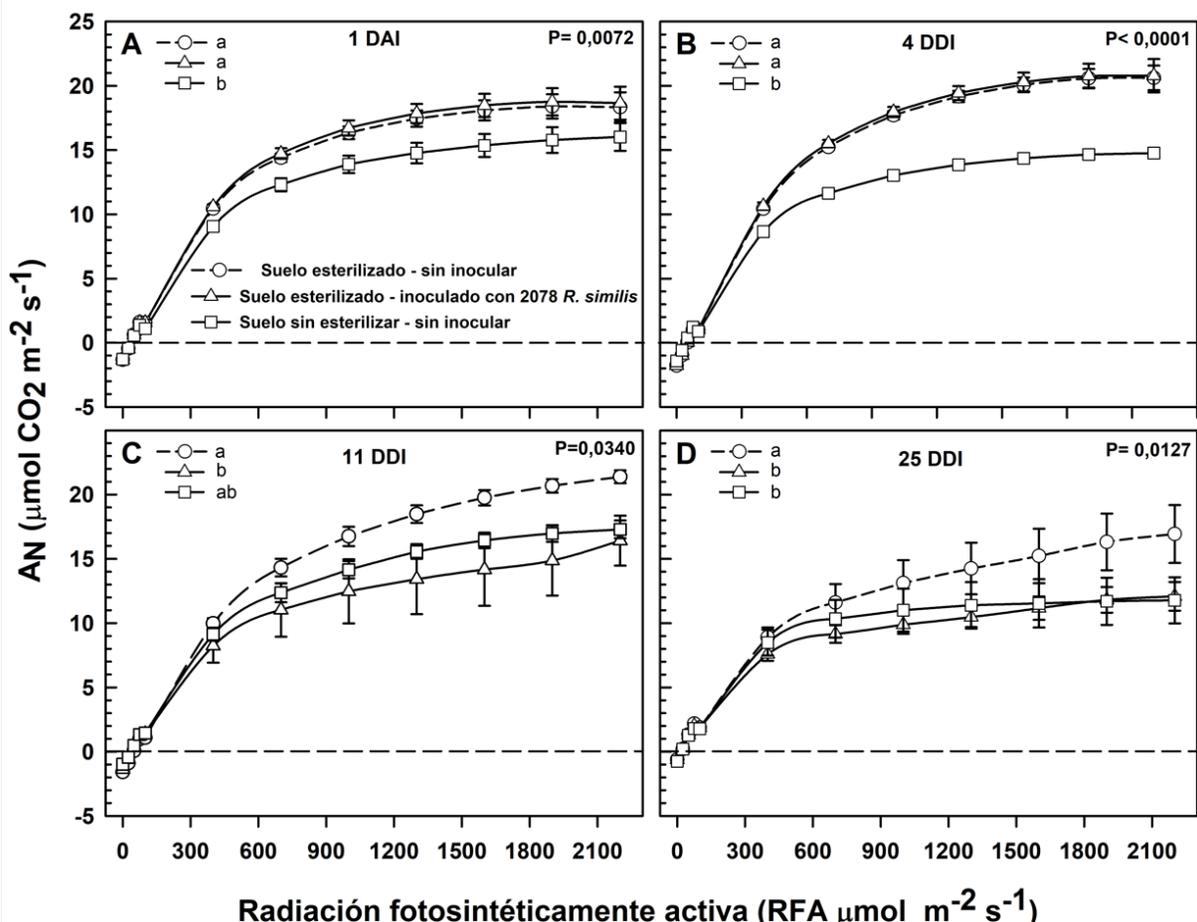


Figura 2. A-D. Curva de respuesta de la asimilación neta de CO₂ a la radiación fotosintética activa (RFA) de plantas de banano (*Musa* AAA cv Grande Naine) antes (A) y a los 4 (B), 11 (C) y 25 (D) días después de la inoculación o no con 2000 (2078 ± 63) *Radopholus similis*. Cada punto es la media ± error estándar de 10 observaciones. 1DAI= un día antes de la inoculación y 4, 11 y 25 DDI= 4, 11 y 25 días después de la inoculación.

La esterilización del suelo fue efectiva, dado que, en las plantas cultivadas en dicho suelo, sin inoculación, no se encontraron nematodos al final del experimento. Adicionalmente, la esterilización permitió determinar la efectividad de la inoculación con *R. similis*, siendo que aquellas plantas cultivadas en el suelo esterilizado que fueron inoculadas, se obtuvo una población de 50758 *R. similis* por 100 g de raíces al final del experimento. En las plantas cultivadas en suelo no esterilizado y sin inocular, se encontró 23733 *R. similis* por 100 g de raíces por planta, lo cual es razonable porque el suelo era de una plantación bananera infestada de nematodos.

La menor tasa fotosintética se encontró en las plantas infectadas por *R. similis*, indistintamente de si el peso de la raíz y el follaje se vieran afectados. Esto confirma que la infección o parasitismo de las raíces del banano por *R. similis*, independientemente de si hay síntomas evidentes en las raíces y el follaje, consistentemente reduce su tasa de fotosíntesis, lo que a largo del ciclo de la planta reduciría el rendimiento del cultivo. Dependiendo del momento de la evaluación, la reducción en la tasa fotosintética en las plantas infectadas varió entre 12 y 33% lo que es congruente con lo encontrado por Schans (1991) quien reportó una reducción del 38% en la tasa de fotosíntesis del cultivar de papa Irene y del 43% en el cultivar Darwina infectado por *Globodera pallida*. Swain y Prasad (1989) en arroz inoculado con 100 juveniles de *Meloidogyne graminicola* por maceta encontraron una reducción en la tasa fotosintética de entre el 19 y el 25%.

En plantas de tomate inoculadas con *Meloidogyne ethiopica* se informó una reducción del 70% en fotosíntesis (Strajnar et al. 2012). En café (*Coffea arabica* 'cv. Catuaí amarillo) la inoculación de 1500 juveniles de *Meloidogyne exigua* o *Meloidogyne paranaensis* provocó 17 y 33%, respectivamente, de reducción en la fotosíntesis (Goulart et al. 2019). Otros autores como Wallace (1974) y Loveys y Bird (1973) informaron que el parasitismo de las raíces de tomate por *Meloidogyne javanica* disminuyó su fotosíntesis. Franco (1980) en plantas de papa parasitadas con *Globodera rostochiensis*, Melakeberhan et al. (1984) en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*) infectadas por *Meloidogyne incognita*, y Melakeberhan y Ferris (1989) en plantas de uva (*Vitis vinifera*) infectadas con *M. incognita* también encontraron menor fotosíntesis. Otros cultivos donde el parasitismo de las raíces por nematodos redujo la fotosíntesis de las hojas son; soja (*Glycine max*) parasitada por *Heterodera glycines* raza-3 (Asmus y Ferraz 2002), algodón (*Gossypium hirsutum*) parasitada por *Meloidogyne incognita* (Lu et al. 2014), *Arabidopsis thaliana* infectada por *Heterodera schachtii* (Labudda et al. 2018).

La reducción en la fotosíntesis de las hojas de banano se dio con la inoculación de 2078 juveniles de *R. similis* por maceta, pero en arroz, se reportó una reducción en la fotosíntesis de las hojas con la inoculación de solo 100 juveniles de *Meloidogyne graminicola* (Swain y Prasad 1989) y en tomate con la inoculación de 250 larvas de *Meloidogyne javanica* (Wallace 1974). Por lo tanto, lo más probable es que la inoculación de números más bajos de *R. similis* también pueda dar como resultado tasas fotosintéticas más bajas.

La reducción de la fotosíntesis con la población inoculada de 2078 nematodos se confirmó en la evaluación realizada a los 4 días después de la inoculación, con una reducción del 12%, la cual ocurrió antes de la reproducción del nematodo, ya que su

ciclo de vida dura 24 días (Guzmán 2011). Si estas bajas poblaciones reducen la fotosíntesis, entonces deberían relacionarse con los umbrales económicos de nematodos indicados para el banano, lo que sustentaría lo encontrado por Guerout (1972) en Costa de Marfil quien sugirió 1000 *R. similis* por 100 g de raíces y con lo indicado por INIAP (2018) de 2500 por 100 g de raíces en Ecuador. También coincide parcialmente con la cifra de 5000 por 100 g de raíces sugerida por Chávez et al. (2020) para banano en Ecuador.

Esta rápida reducción de la fotosíntesis de las hojas después de la infección por nematodos también se ha reportado en otros cultivos. Wallace (1974) y Loveys y Bird (1973) en plantas de tomate, encontraron que *Meloidogyne javanica* disminuyó la fotosíntesis de las hojas dos días después de la invasión de las raíces. En plantas de papa, parasitadas con *Globodera rostochiensis* (Franco 1980) o *Globodera pallida* (Schans 1991), se encontró una reducción en la fotosíntesis tres días después de la infección del nematodo. Melakeberhan et al. (1984) en *Phaseolus vulgaris*, citaron una reducción en la fotosíntesis de las hojas 3 días después de la invasión de *Meloidogyne incognita*, y Labudda et al. (2018) indicaron una reducción en fotosíntesis en *Arabidopsis thaliana* 7 días después de la invasión de *Heterodera schachtii*.

Esto significa que raíces que se piensa que están sanas por tener coloración blanca o crema, sin síntomas obvios de daños por nematodos, no siempre, ni necesariamente están libres de nematodos. Wang et al. (2003), Niblack (1993), Mai (1985), McKenry y Roberts (1985), Ayoub (1980), indican que pérdidas en rendimiento pueden ocurrir cuando una o más especies de nematodos pueden estar alimentándose de una planta determinada, sin mostrar signos o síntomas obvios o específicos.

La reducción en fotosíntesis ocurrió en todos los momentos de evaluación en las plantas con nematodos. Esto concuerda con las observaciones de Wallace (1974) y Loveys y Bird (1973), quienes encontraron una disminución de la fotosíntesis a lo largo del crecimiento del cultivo. Esto significa que en plantas de banano infectadas con nematodos la emisión de hojas se retrasaría y se alargaría el ciclo del cultivo.

La reducción en fotosíntesis probablemente se debe a una alteración de la eficiencia de los procesos fisiológicos en toda la planta inducida por el parasitismo de los nematodos (Hussey y Williamson, 1998). Se sabe que las actividades de alimentación y migración de los nematodos alteran el tejido de las raíces y alteran el crecimiento de las raíces (Wilcox-Lee y Loria 1987) y, en consecuencia, el huésped tiene una deficiencia en la absorción de agua y nutrientes (Strajnar et al., 2012, Hurchanik et al., 2004). Labudda et al. (2018) encontraron que *Heterodera schachtii* alteró los procesos fisiológicos de la planta de *Arabidopsis thaliana*. Fatemy et al.

(1985) sugirieron que la reducción de la tasa fotosintética en plantas de papa infectadas por *Globodera rostochiensis* se debía al cierre de los estomas inducido por el estrés hídrico. De manera similar, Goulart et al. (2019) trabajando con plántulas de café infectadas con *M. exigua* o *M. paranaensis* encontraron alteraciones en la fisiología de la planta como reducción en la transpiración, conductancia estomática, concentración de CO₂ y en la tasa fotosintética. Por lo tanto, la fotosíntesis es un proceso crucial que determina el rendimiento de los cultivos y consiste en una secuencia de eventos que se interactúan entre sí. En este sentido, cualquier alteración en su equilibrio puede alterar el proceso fisiológico. Una reducción en la fotosíntesis da como resultado una menor tasa de crecimiento de raíces y follaje, menos vigor, menor tasa de emisión de hojas, menor peso del racimo que en conjunto termina con una menor productividad.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que la infección o parasitismo de las raíces del banano por *R. similis*, independientemente de si hay síntomas evidentes en raíces y follaje, consistentemente reduce su fotosíntesis, lo que a largo del ciclo reduciría el rendimiento del cultivo.

REFERENCIAS

1. Asmus GL, Ferraz LCCB. 2002. Effect of population densities of *Heterodera glycines* race 3 on leaf area, photosynthesis, and yield of soybean. *Fitopatología Brasileira* 27:273-278. DOI:10.1590/S0100-41582002000300006
2. Ayoub SM. 1980. Plant nematology an agricultural training AID. NemaAid Publication. Sacramento, California. 195p
3. Chávez C, Rubio D, Tobar M, Salas E, Araya M. 2020. Number of nematicide cycles per year on banana (*Musa* AAA cv Valery) root nematode control and crop yield. *International Journal of Science and Research*, 9(7):1651-1663. DOI: 10.21275/SR20722023421
4. Fatemy F, Trinder PKE, Wingfield JN, Evans K. 1985. Effects of *Globodera rostochiensis* and water stress and exogenous abscisic add on stomatal function and water use of Cara, and Pentland Dell potato plants. *Revue de Nematologie* 8(3):249-255.
5. Franco J. 1980. Effect of potato cyst-nematode, *Globodera rostochiensis*, on photosynthesis of Potato plants. *Fitopatologia* 15:1-6.

Control de *Radopholus similis* en banano (*Musa AAA*) en Chiapas, México

Alejandro Romero¹; Eulogio Ocampo¹; Juan Delgado²; Eduardo Salas³; César Guillen⁴; Mario Araya^{5*}

¹AMVAC México; ²LIFE-RID-AMVAC Costa Rica; ³Catedrático Escuela Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Costa Rica; ⁴profesor Universidad de Costa Rica; ⁵AMVAC Chemical Corporation.

*Autor de
Correspondencia:
Mario Araya
mariaoa@amvac.com

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Romero A, Ocampo E, Delgado J, Salas E, Guillen C y Araya M. 2024. Control de *Radopholus similis* en banano (*Musa AAA*) en Chiapas, México. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 60 <https://doi.org/10.62498/AR.TC.2460>



RESUMEN

En un diseño de bloques al azar con 5 repeticiones, se evaluó el efecto de la aplicación de Counter® 15GR-tebufos, Mocap® 15GR-ethoprofos y un testigo sin aplicación en el control de *Radopholus similis* y la recuperación del sistema radical en dos plantaciones comerciales de banano (*Musa AAA*) en Chiapas, México. A los 60 días de su aplicación, ambos productos redujeron ($P < 0,0001$) el número de *R. similis* en ambos experimentos, difiriendo del testigo. El Counter® lo redujo ($P < 0,0001$) en 86 y 75% y el Mocap® en 93 y 96% en el Exp I y II, respectivamente, mientras en el testigo, en el Exp I, aumentó ($P = 0,0051$) la población en un 101% y en Exp II, hubo una reducción no significativa del 17%. En ambos experimentos, la aplicación de los productos aumentó el porcentaje de raíces sanas.

Palabras clave: control de nematodos, control químico, raíces sanas, raíces muertas, raíces necrosadas, Fitosanidad.

ABSTRACT

In a completely randomized block design with 5 repetitions, the effect of the application of Counter® 15GR-terbufos, Mocap® 15GR-ethoprofos and untreated control was evaluated for *Radopholus similis* control and the recovery of the root system in two commercial banana plantations (*Musa AAA*) at Chiapas, Mexico. At 60 days after application, both products reduced ($P < 0.0001$) the number of *R. similis* in both experiments, differing from the untreated. Counter® reduced it ($P < 0.0001$) by 86 and 75% and the Mocap® by 93 and 96% in Exp I and II, respectively, while in the untreated, in Exp I it increased ($P = 0.0051$) the population by 101% and in Exp II there was a non-significant reduction of 17%. In both experiments, the application of the products increased the percentage of healthy roots.

¡Error! Objeto incrustado no válido. **Keywords:** chemical control, nematode control, healthy roots, necrotic roots, dead roots, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

El banano y plátano son un alimento básico y aportan carbohidratos para la mayor parte de la población. En México se cultivan más de 81000 hectáreas con musáceas (SIAP 2021). Su producción es parte de la seguridad alimentaria del país, proporciona ingresos para muchos agricultores y contribuye en la generación de empleo agrícola.

Dentro de los problemas que afronta su producción, los nematodos parásitos de las raíces, que se encuentran distribuidos en todos los países donde se cultiva, son su principal plaga en el sistema radical (Gowen, 1995; Volcy, 2011; Guzmán, 2011; Nega, 2015; Stirling, 2023). En México se reporta en *Musa* la presencia de *Radopholus similis*, *Helicotylenchus* spp., *Pratylenchus* spp., *Hoplolaimus*, *Xiphinema*, *Tylenchus*, *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne arenaria*, *Criconema* spp. y *Helicotylenchus multicinctus* (Adriano et al., 2008; Lara et al., 2016).

Lo frecuente es que *R. similis* sea el nematodo más abundante. Los daños de *Radopholus similis* sobre el sistema radical pueden reducir la absorción de agua y nutrientes lo cual puede retardar la emisión foliar, alargar el periodo vegetativo del cultivo, reducir el peso de los racimos y favorecer el volcamiento de las plantas lo que conlleva pérdidas en productividad (Guzmán, 2011; Jaramillo et al. 2019, Chávez et al. 2020, Medina et al., 2022). Por tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el control de dicho nematodo con dos nematicidas no fumigantes disponibles en el mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos en plantaciones comerciales de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine) infectadas de nematodos y localizadas una en el municipio de Tapachula y el otro en Huehuetán ambos del estado de Chiapas México. Los suelos fueron clasificados taxonómicamente como Luvisol de textura franco arcillosa (53% arena, %20 limo, 27% arcilla Exp I, 50% arena, 21% limo, 29% arcilla Exp II) con un pH de 5,3 y 5,4 y un 1,5% y 1,7% de materia orgánica, respectivamente. Las prácticas agrícolas normales de fertilización, control de Sigatoka negra, control de arvenses, deshija, protección de racimo y cosecha se realizaron de forma estandarizada en cada una de las fincas.

En cada finca se seleccionaron 1,5 hectáreas que fueron divididas en 15 parcelas cada una de 1000 m² con 120-150 unidades de producción. Se evaluaron tres

tratamientos; el testigo sin aplicación, la aplicación de Counter® 15GR (terbufos-biodac AMVAC) y el Mocap® 15GR (Ethoprop-biodac AMVAC) a razón de 30 g de producto comercial por hijo en un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La aplicación del Counter® y Mocap® se hizo con la bomba de espalda granuladora manual Swissmex específica para dichos productos calibrada a la dosis evaluada por punto de aplicación, depositando los productos sobre la superficie del suelo húmedo, de la base del pseudotallo hasta 40 cm en semicírculo, dirigido al hijo de sucesión con la rodaja limpia.

Para estimar la población de *R. similis* y el daño causado a las raíces, se excavó un hoyo de 20 cm de longitud, 20 cm de ancho y 30 cm de profundidad (volumen total de 12 L de suelo) en la base del pseudotallo del hijo de sucesión de entre 1,5 y 2,5 m de altura de plantas recién florecidas o prontas a florecer. De cada hoyo, se colectaron todas las raíces presentes y se colocaron en bolsas plásticas marcadas con el tratamiento y repetición. Cada muestra se conformó por las raíces de cuatro hijos en cada una de las parcelas experimentales. Se realizó un monitoreo pre-aplicación y luego otro a los 60 días de aplicados los tratamientos. Para la evaluación de raíces, se lavó la muestra proveniente de campo y se separó en muertas (raíces podridas por exceso de humedad o por patógenos de suelo), sanas (raíces blancas, cremosas, sin síntomas de daño por nematodos) y necrosadas (raíces con coloraciones pardo-rojizas). Se dejó secar la humedad superficial de cada muestra y se pesó en una balanza Cas precisión 5 kg \pm 1 g. Con dichos pesos se calculó el porcentaje de cada tipo de raíz por hijo.

Las raíces sanas y necrosadas se picaron en trozos de 1 a 1,5 cm se homogenizaron y 25 g fueron seleccionados al azar para la extracción de nematodos por el método de macerado y filtrado (Hooper et al. 2005). Los 25 g se colocaron en una licuadora con 200 ml de agua, se licuó por 30 segundos y la solución se filtró a través de tamices. Posteriormente, con la ayuda de una piseta los nematodos retenidos en el último tamiz (400 mesh) fueron transferidos a un beaker hasta completar 20 ml. Los nematodos se identificaron a nivel de género y especie, cuando fue posible, con base en las características morfológicas al microscopio óptico, siguiendo la clave de Siddiqi (2000). El nematodo predominante fue *R. similis* (> 96%) y se expresó su población en número de individuos por 100 g de raíces.

Los porcentajes de raíces antes de la aplicación del tratamiento y a los 60 días post aplicación se sometieron a un ANOVA mediante Proc GLM de SAS y separación de medias mediante la prueba LSD. El número de *R. similis* se analizó con modelos lineales generalizados, utilizando la transformación logarítmica como función de enlace y la distribución binomial negativa de los errores para cada muestreo. Luego por

ANOVA se comparó en cada tratamiento los porcentajes de raíces y la cantidad de *R. similis* pre-aplicación vs a los 60 días post aplicación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al establecimiento del experimento los porcentajes de raíces muertas, sanas y necrosadas por hijo fueron similares ($P > 0,0578$) entre tratamientos en ambos experimentos. La cantidad de raíces muertas fluctuó entre 16,2 y 21,5 y entre 4,7 y 9,7%, las sanas entre 34,5 y 46,5 y entre 42,2 y 44,5% y las necrosadas entre 32,0 y 45,2% y entre 46,5 y 53,0% por hijo en el Exp I y Exp II, respectivamente (Figura 1A-C). El número de *R. similis* fue menor ($P = 0,0152$) en el testigo en el Exp I con 6200 vs 13200 y 15800 en los hijos que se iban aplicar con nematicida y similar ($P = 0,6159$) entre tratamientos en el Exp II (Figura 1D) donde fluctuó entre 13800 y 19000 por 100 g de raíces por hijo.

A los 60 días de aplicados los productos, se evidenció un aumento ($P = 0,0115$) en el porcentaje de raíces muertas por hijo en las plantas testigo en el Exp I con 24% vs 9,5% en los hijos aplicados con Counter® 15GR y 11,7% en los aplicados con Mocap® 15GR, mientras en el Exp II fue similar ($P = 0,2728$) entre tratamientos, variando entre 9,0 y 21,2%. El porcentaje de raíces sanas por hijo aumentó ($P < 0,0459$) en aquellos aplicados con nematicida en ambos experimentos, mientras en los hijos sin aplicación se mantuvo prácticamente igual. Dichos porcentajes variaron en el Exp I entre 41 y 69,7% y en el Exp II entre 40,5 y 66,8%. Los porcentajes de raíces necrosadas fueron similares ($P > 0,1828$) entre tratamientos en ambos experimentos y variaron entre 20,7 y 35,0% en el Exp I y entre 24,2 y 38,2% en el Exp II. Las poblaciones de *R. similis* disminuyeron ($P < 0,0001$) en los hijos aplicados con nematicida en ambos experimentos y sus poblaciones oscilaron entre 950 y 12600 y entre 750 y 11500 por 100 g de raíces por hijo en el Exp I y Exp II, respectivamente (Figura 1D).

Cuando se comparó el efecto en cada tratamiento (0 vs 60 días), en el Exp I se encontró que a los 60 días de aplicados los productos, el Counter® 15GR redujo ($P = 0,0380$) en 56% el porcentaje de raíces muertas, el Mocap® 15GR la disminuyó en 28%, pero sin alcanzar a ser significativa ($P = 0,3397$) y en el testigo se aumentó en un 18% sin alcanzar la diferencia a ser significativa (Figura 1A). En el Exp II, en todos los tratamientos aumentó el % de raíces muertas siendo significativo ($P = 0,0448$) en el testigo con un incremento del 348%. El porcentaje de raíces sanas aumento con la aplicación de nematicida en ambos experimentos. El Counter® 15GR la incrementó

($P= 0,0152$) en 50% en el Exp I, y en el Exp II el incremento no significativo fue de un 21%. La aplicación de Mocap® 15GR resultó en un aumento del 39% ($P= 0,0315$) en el Exp I y del 50% ($P= 0,0791$) en el Exp II. El porcentaje de raíces necrosadas disminuyó en los tres tratamientos en ambos experimentos, siendo significativa en Mocap® 15GR con 51% ($P= 0,0387$) en el Exp II. En ambos experimentos los nematicidas redujeron ($P < 0,0001$) la población de *R. similis*. El Counter® 15GR la disminuyó en 86 y 75% y el Mocap® 15GR en 93 y 96% en el Exp I y II, respectivamente, mientras en el testigo aumentó en 103% ($P= 0,0051$) en el Exp I y en el Exp II hubo una leve reducción del 17%.

El nematodo detectado *R. similis* es reconocido como la principal plaga de las raíces del banano (Gowen et al., 2005; Quénehervé, 2008; Dubois y Coyne, 2011; Volcy, 2011; Guzmán 2011; Sikora et al., 2018) y coincide con lo reportado en México (Adriano et al., 2008; Lara et al., 2016). La alta población de *R. similis* se ve favorecida por el sistema de producción del banano, que, si bien es un cultivo anual, su producción es en monocultivo perenne. *Radopholus similis* es un endoparásito migratorio que causa lesiones necróticas a lo largo de toda la raíz; en la epidermis, parénquima cortical y cilindro vascular (Volcy 2011, Guzmán 2011, Sikora et al. 2018).

La reducción en la población de *R. similis* con la aplicación de nematicida de 75 a 96% coincide con resultados de Araya y Cheves (1997a, 1997b), quienes informaron reducciones del 22 al 63% para dicho nematodo. Dichos resultados también concuerdan con publicaciones de Ecuador, donde Jaramillo et al. (2019) reportaron reducciones entre 20 y 49% y Chávez et al. (2020), disminuciones de entre 22 y 49 % en *R. similis*. Dichas reducciones también son congruentes con resultados de Salguero et al. (2016) en Belize, quienes registraron disminuciones del 33 a 47% en *R. similis* y con Castillo et al. (2010) en Colombia, quienes encontraron disminuciones entre 24 y 37% para *R. similis*.

Paralelamente a la reducción significativa de *R. similis* en los tratamientos con nematicida, se registró menor porcentaje de raíces muertas y necrosadas, y un mayor porcentaje de raíces sanas. Las poblaciones iniciales de *R. similis* superaban los umbrales económicos establecidos en el cultivo. Esto se evidenció con la recuperación del sistema radical a los 60 días post aplicación. Los resultados sugieren que la aplicación de ambos nematicidas son una opción para el control de nematodos en banano para prevenir pérdidas en producción.

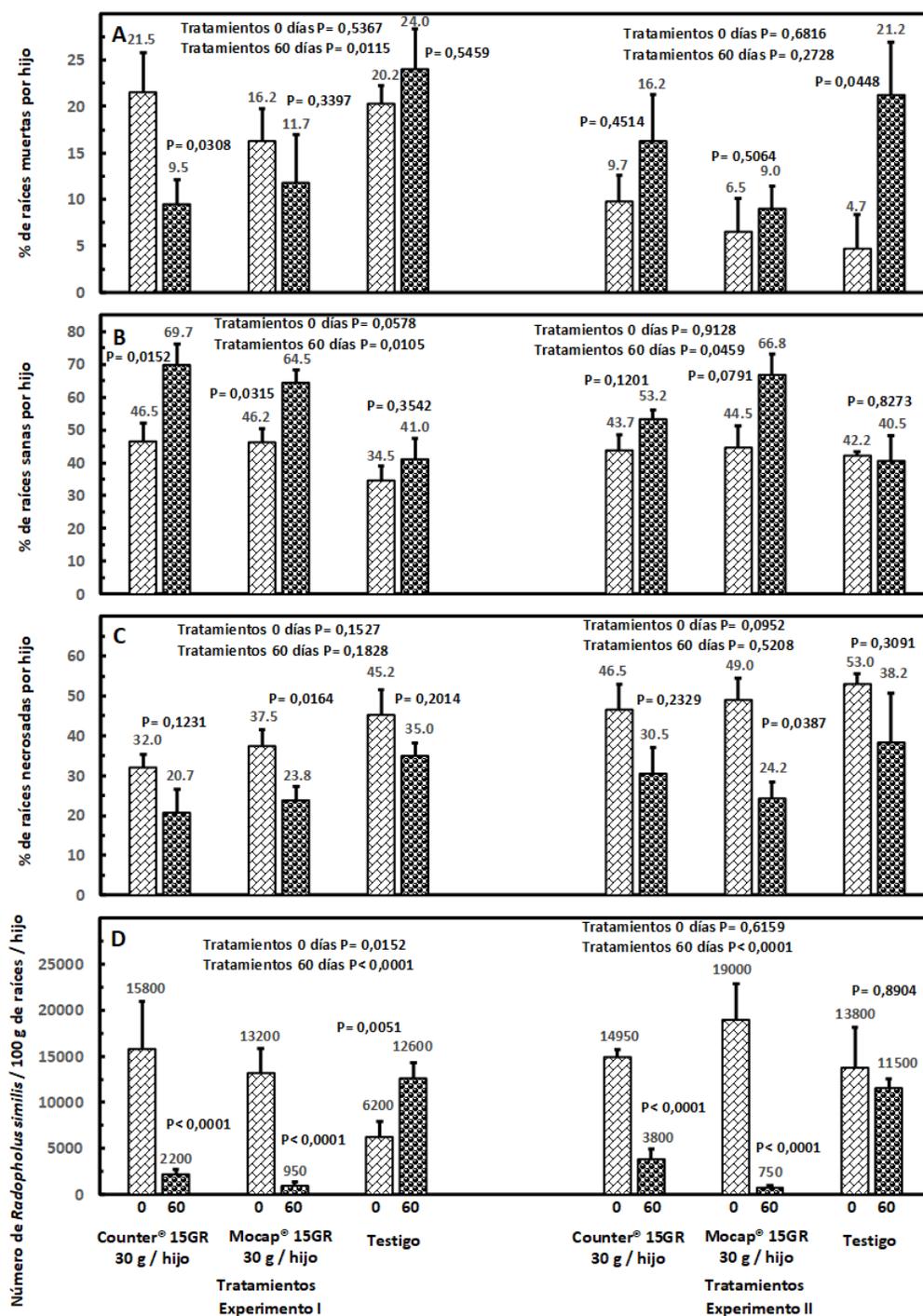


Figura 1. A-D. Porcentaje de raíces muertas (A), sanas (B) y necrosadas (C) por hijo y número de *Radopholus similis* por 100 g de raíces (D) por hijo en plantas de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine) tratadas o sin tratar (testigo) con nematocida. Cada barra es la media \pm error estándar de 5 repeticiones y en cada repetición la muestra procedió de las raíces de 4 hijos de sucesión.

En Costa Rica se han encontrado aumentos en rendimiento con el control de nematodos que oscilaron entre 18 y 27% (Medina et al. 2022). Gowen y Quénéhervé (1990), mencionaron aumentos hasta del 267%, Gowen (1995) hasta del 275% y Stanton y Pattison (2000) del 46%. Quénéhervé et al. (1991), indicaron aumentos en producción entre 463 y 1328 cajas (8,4-24,1 tm) en Costa de Marfil, Pattison et al. (1999) reportaron incrementos entre 655 a 953 cajas de 13 kg (8.5 - 12.3 tm) en Australia, Salguero et al. (2016) encontraron incrementos entre 545 y 832 cajas de 18,14 kg (9,9-15,1 tm) en Belize, Jaramillo et al. (2019), mencionaron incrementos entre 545 y 1158 cajas de 18,14 kg (9,9 - 21 tm) en Ecuador, Chávez et al. (2020), reportaron aumentos entre 226 y 730 cajas de 18,14 kg (4,0 a 13,2 tm) también en Ecuador y Araya y Lakhi (2004) citaron aumentos de 1245 cajas de 18,14 kg (22,6 tm) por hectárea por año, controlando nematodos mediante la aplicación de nematicidas químicos en Costa Rica. Es decir que, si hay presencia de nematodos y su población supera el umbral económico, la aplicación de opciones de control que reduzcan la población y conlleven la recuperación del sistema radical, van a redundar en aumentos de producción.

CONCLUSIONES

La aplicación de ambos nematicidas redujo las poblaciones de *R. similis* y aumento el porcentaje de raíces sanas en ambos experimentos.

REFERENCIAS

1. Adriano AML, Herrera LD, Albores FV, Salvador FM, Velasco ZME. 2008. Nematodos endorrizoféricos del banano (*Musa* AAA. Subgrupo Cavendish) clon Grande Naine en el Socunusco, Chiapas, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 26:147-152.
2. Araya M, Lakhi A. 2004. Response to consecutive nematicide applications using the same product in *Musa* AAA, cv. Grande Naine originated from *in vitro* propagative material and cultivated on a virgin soil. Nematologia Brasileira, 28(1):55-61.
3. Araya M, Cheves A. 1997a. Efecto de cuatro nematicidas sobre el control de nematodos en banano (*Musa* AAA). CORBANA, 22:35-48.
4. Araya M, Cheves A. 1997b. Comparación de tres diferentes formulaciones comerciales de Terbufos en el combate de nematodos, la recuperación del sistema radicular y en el rendimiento del banano (*Musa* AAA). CORBANA, 22:9-22.
5. Castillo RJD, Araya VM, Patiño HLF. 2010. Respuesta a la aplicación de nematicida en banano en la zona de Urabá, Colombia. Agronomía Mesoamericana 21(2): 1-11.

6. Chávez C, Rubio D, Tobar M, Salas E, Araya M. 2020. Number of nematicide cycles per year on banana (*Musa* AAA cv Valery) root nematode control and crop yield. *International Journal of Science and Research*, 9(7):1651-1663.
7. Dubois T, Coyne DL. 2011. Integrated pest management of banana. Pp:121-144. En: Pillay M, Tenkouano A. eds. *Banana breeding progress and challenges*. CRC Press Taylor & Francis Group.
8. Gowen S. 1995. Pests. En: Gowen, S. (eds). *Bananas and Plantains*. Chapman and Hall, London. Pp. 382-402.
9. Gowen SR, Quénéhervé P, Fogain R. 2005. Nematode parasites of bananas and plantains. En: Luc M, Sikora RA, Bridge J. eds. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*, CAB International. Pp:617-643.
10. Gowen SR, Quénéhervé P. 1990. Nematode parasites of bananas, plantains, and abacá. En: Luc M, Sikora RA, Bridge J. (eds.). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*, CAB International, UK. Pp. 431-460.
11. Guzmán POA. 2011. El nematodo barrenador (*Radopholus similis* (Cobb) Thorne) del banano y plátano. *Luna Azul* 33: 137-153.
12. Hooper DJ, Hallmann J, Subbotin SA. 2005. Methods for extraction, processing and detection of plant and soil nematodes. En Luc M, Sikora RA, Bridge J. eds. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. 2^{ed} CABI, UK. Pp: 53-86.
13. Jaramillo J, Vintimilla M, Rubio D, Soto G, Tobar M, Salas E, Araya M. 2019. Effect of nematicide rotation on banana (*Musa* AAA cv. Williams) root nematode control and crop yield. *Agronomía Colombiana* 37(2):184-196.
14. Lara PSV, Núñez SAE, López LD, Carrión G. 2016. Nematodos fitoparásitos asociados a raíces de plátano (*Musa acuminata* AA) en el centro de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 34:116-130.
15. Nega GG. 2015. A review on biology and management of *Radopholus similis*. *Advances in Life Science and Technology* 36:91-95.
16. Pattison T, Santon J, Versteeg C. 1999. Nematicides: are they worth it? *Bananatopics*, 27:11-13.
17. Quénéhervé P. 2008. Integrated management of banana nematodes. En: Ciancio A, Mukerji KG. eds. *Integrated Management of Plant Pest and Diseases. Integrated Management of Fruit Crops and Forest Nematodes*. Springer. Pp:3-61.
18. Quénéhervé P, Cadet P, Mateille T, Topart P. 1991. Population of nematodes in soil under bananas cv. Poyo, in the Ivory Coast. 5. Screening of nematicides and horticultural results. *Revue Nematol*, 14:231-249.
19. Salguero D, Rudon G, Blanco R, Moya C, Ramclam W, Medina L, Azofeifa D, Araya M. 2016. Effect of different nematicide applications per year on banana (*Musa* AAA) root nematode control and crop yield. *Journal of Applied Biosciences* 101:9598-9609. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v10i1.4>
20. SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2021. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-autosuficiente-en-produccion-de-platano-agricultura-287794>. Consultado 25-11-2023.
21. Sikora R, Coyne D, Quénéhervé P. 2018. Nematode parasites of bananas and plantains. En: Sikora RA, Coyne D, Hallmann J, Timper P. eds. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. 3rd edition, CABI. Pp:617-657.

22. Stanton JM, Pattison AB. 2000. Implementing strategic control of nematodes on banana. Final report. Horticultural Research and Development Corporation, Queensland Department of Primary Industries, Queensland Government. March 2000. Project FR96016. Sidney, Australia.
23. Stirling RG. 2023. Burrowing nematode (*Radopholus similis*), the most important nematode pest of banana in Australia. Plant and soil nematodes. Fact sheet PSN 036.
24. Volcy C. 2011. Past and present of the nematode *Radopholus similis* (Cobb) Thorne with emphasis on *Musa*: a review. *Agronomía Colombiana* 29(3):433-440.

Vaniva® 45 SC con Tymirium® technology en el control del nematodo *Radopholus similis* en el cultivo de banano

Gonzalo Sánchez-Fernández^{1*}

¹Syngenta Crop Protection S.A, Departamento Desarrollo CP, Costa Rica.

*Autor de

Correspondencia:

Gonzalo Sánchez-Fernández
gonzalo.sanchez-1@syngenta.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Sánchez-Fernández G.
2024. Vaniva® 45 SC con
Tymirium® technology en
el control del nematodo
Radopholus similis en el
cultivo de banano.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
61
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2461](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2461)

RESUMEN

Se evaluó VANIVA® 45 SC con TYMIRIUM® technology nematicida en el control de (*Radopholus similis*) en el cultivo de banano. El experimento se instaló en Costa Rica en invernadero con plantas Grande Naine en fase IV; entre 2021-2022. Se evaluaron cuatro dosis de VANIVA® 45 SC, comparadas con estándares comerciales aplicados una vez en “drench” 100 ml de solución por planta. Todos los tratamientos se inocularon con 500 hembras de *Radopholus similis* +J2, excepto el testigo sin aplicación. VANIVA® 45 SC a la dosis de 0.3 Ha-1 mostró un control efectivo del nematodo barrenador *Radopholus similis*, superior al estándar comercial con una mejor eficacia y menor tasa de reproducción.

Palabras clave: *Musa* spp., nematodo, *Radopholus similis*, Fitosanidad.

ABSTRACT

VANIVA®45 SC with TYMIRIUM® technology nematicide was evaluated in the control of (*Radopholus similis*) in banana crops. The experiment was set up in Costa Rica with Grande Naine plants phase IV, in a greenhouse; between 2021-2022. Four doses of VANIVA® 45 SC were evaluated, compared to commercial standards applied once in “drench” 100 ml of solution/plant. All treatments were inoculated with 500 *Radopholus similis* +J2 females, except for the control without application. VANIVA® 45 SC technology at rate of 0.3 L ha⁻¹ showed effective control of the borer nematode *Radopholus similis*, superior to commercial standard with better efficiency and lower reproduction rate.

Keywords: *Musa* spp., nematode, *Radopholus similis*, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

El banano constituye uno de los cultivos de exportación más importantes en Costa Rica. Al igual que la mayoría de los cultivos, el banano es afectado por factores bióticos que limitan su producción dentro de los cuales el daño causado por nematodos es el segundo factor en importancia en la reducción del rendimiento, después de la Sigatoka negra. Aunque en plantaciones con varios años de establecidas lo común es encontrar comunidades poliespecíficas, en general se establece que la mayor importancia económica la tiene el endoparásito migratorio *Radopholus similis*, conocido como nematodo barrenador del banano, que también es el más frecuente y abundante, constituyendo más del 70% de la población de nematodos en las raíces (Araya, M. et al 2004). Los nematodos penetran las raíces y emigran a través de las células corticales causando lesiones que pueden llegar a extenderse hasta el cilindro vascular de la raíz, llegando a causar pérdidas en el rendimiento de hasta un 30-50%. Las plantas infectadas tienen un anclaje muy pobre, resultado del deterioro en el sistema radicular, reduciendo también la habilidad para absorber agua y nutrientes, lo que conlleva a la pérdida de peso en los racimos, los ciclos entre cosechas se alargan y la longevidad de la unidad de producción se reduce (Araya, M. 2003). Generalmente el combate de nematodos en plantaciones bananeras se realiza con nematicidas carbamatos y organofosforados aplicados sobre la superficie del suelo. Este tipo de moléculas posee ciertas restricciones ambientales y de seguridad que dictan un uso racional de los mismos. Con el propósito de proveer una eficiente solución al problema del nematodo barrenador, Syngenta desarrollo Vaniva® 45 SC con TYMIRIUM® technology.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se instaló en plantas de banano (Musa AAA, subgrupo Cavendish) variedad Grande Naine en fase IV, sembradas en macetas en un invernadero en Guápiles, Limón, Costa Rica. Se evaluaron cuatro dosis de Cyclobutrifluram a 0.1 L ha^{-1} , 0.2 L ha^{-1} , 0.3 L ha^{-1} y 0.4 L ha^{-1} , con el objetivo de evaluar el control de *Radopholus similis*, comparadas con estándares comerciales Oxamil 24 SL a 9.0 L ha^{-1} , Fluopyram 50 SC a 1.0 L ha^{-1} aplicados una vez en “drench” 100 ml de solución (sobre la superficie del suelo y al pie de la planta), un testigo sin aplicación y un testigo inoculado. Todos los tratamientos se inocularon con 500 hembras del nematodo barrenador *Radopholus similis* +J2, excepto el testigo sin aplicación. El ensayo se estableció en un diseño de BCA con ocho tratamientos, diez repeticiones, cada unidad experimental estuvo constituida por tres plantas. Para determinar la tasa de reproducción se contabilizó el número de *Radopholus similis* /100 gramos de raíz a

los 120, 150, 180 y 210 días después de la aplicación, como también su impacto en la raíz al determinar el peso de raíces funcionales (raíces sanas de color blanco o crema). Los datos se sometieron a un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias DMS ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presencia de nematodo barrenador *Radopholus similis* en todos los tratamientos a través del período de evaluación, se aprecia en la Figura 1. Muestra como los tratamientos a partir de los 120 días después de la aplicación presentan diferencias significativas, el testigo inoculado toma una dinámica ascendente en el número de individuos/100 g de raíz, con diferencias significativas en relación con VANIVA® 45 SC y demás tratamiento, respectivamente.

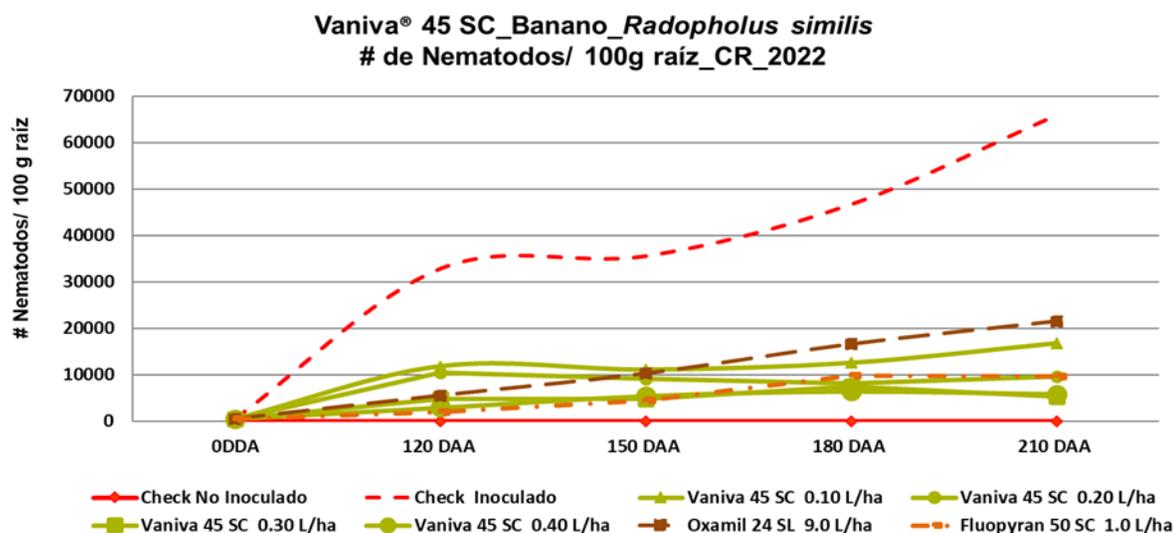


Figura 1. Dinámica poblacional de *Radopholus similis* en el cultivo de banano, Guápiles. Costa Rica. 2022

A los 210 días después de la aplicación, Vaniva 45 SC a dosis de 0.3 L ha⁻¹ y 0.4 L ha⁻¹ registraron los valores numéricos más bajos de *R. similis* con diferencias significativas en relación con los estándar comerciales, presentando los mejores porcentajes de eficacia (89% y 87%) en el control de *R. similis* (Figura 2).

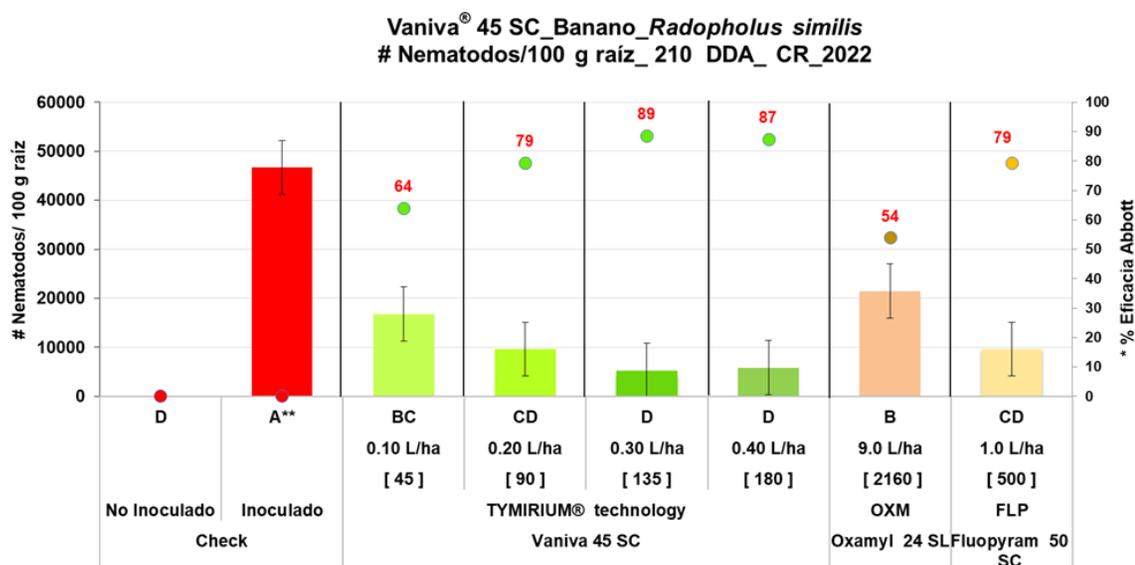


Figura 2. Número de nematodos *Radopholus similis* en raíz en el cultivo de banano a los 210 días después de la aplicación, Guápiles, Costa Rica. 2022. * % Eficacia según Abbott. ** Separación de medias según la prueba de DMS ($p \leq 0.05$).

La aplicación de VANIVA® 45 SC a dosis de 0.3 L ha⁻¹ presentó el mayor control de *R. similis*, al causar la mayor mortalidad a los nematodos inoculados en las plantas de banano. Figura 3.

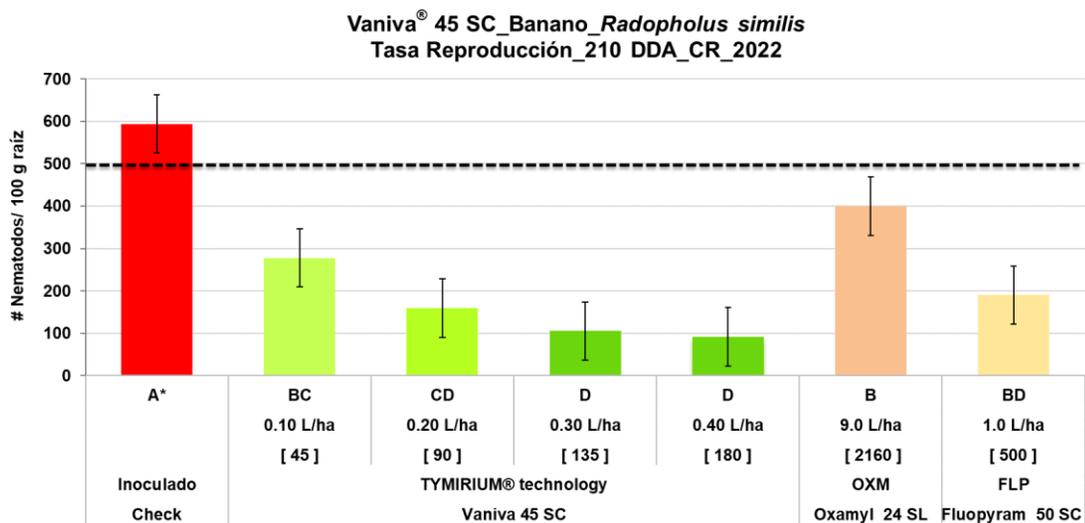


Figura 3. Tasa de reproducción de *Radopholus similis* en el cultivo de banano a los 210 DDA, Guápiles, Costa Rica. 2022. *Separación de medias según la prueba de DMS ($p \leq 0.05$)

VANIVA 45 SC a dosis de 0.3 L ha⁻¹ al registrar un control efectivo de *R. similis*, permite tener un mejor peso de raíces funcionales para un mejor soporte y anclaje al suelo, así mismo una mejor absorción de agua y captación de nutrientes. Figura 4.

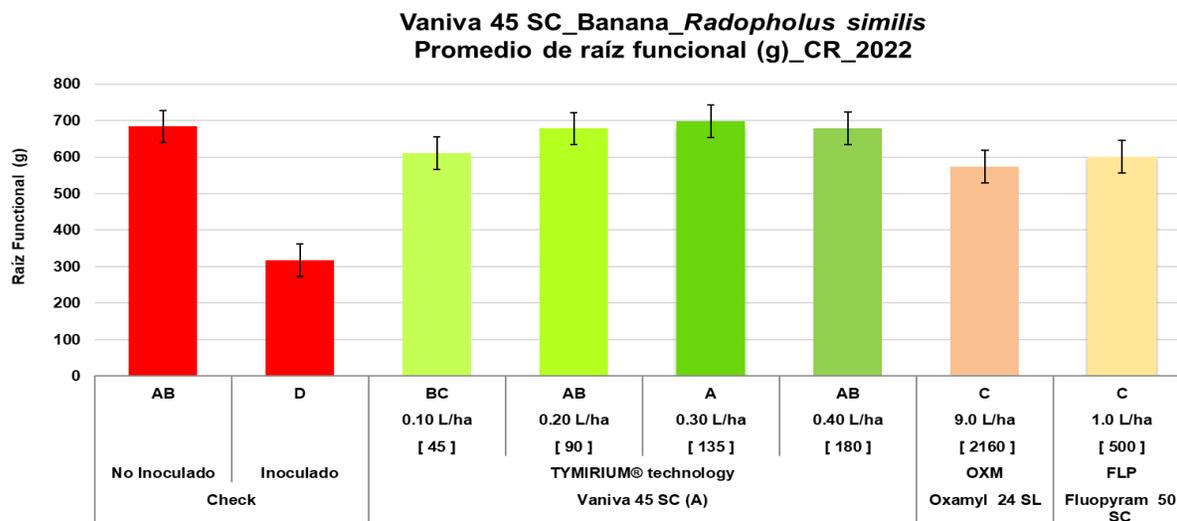


Figura 4. Promedio de raíz funcional por tratamiento en el control de *Radopholus similis* en el cultivo de banano. Costa Rica. 2022. *Separación de medias según la prueba de DMS ($p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

La aplicación de Vaniva®45 SC a dosis de 0.3 ha⁻¹ presentó un control efectivo del nematodo barrenador (*R. similis*) a 210 días después de la aplicación.

REFERENCIAS

1. Araya, M. 2003. Situación actual del manejo de nematodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el trópico americano. En Rivas, G., y Rosales, F. (eds.), Manejo Convencional y alternativo de la Sigatoka Negra, Nematodos y Otras Plagas Asociadas al Cultivo de Musáceas en los Trópicos (pp. 79-102). Francia: INIBAP.
2. Araya, M. .2004. Los fitonematodos del banano (*Musa AAA* Subgrupo Cavendish cultivares Grande Naine, Valery y Williams) su parasitismo y combate. XVI Reunión Internacional ACORBAT. pp. 84-105.

3. Araya, M., y De Waele, D. 2004. Spatial distribution of nematodes in three banana (Musa AAA) root parts considering two root thickness in three farm management systems. *Acta Oecologica*, 26, 137-148.
4. Araya, M., y Moens, T. 2003. Parasitic nematodes on Musa AAA (Cavendish subgroup cvs 'Grande naine' 'Valery' and 'Williams'). En Turner, D., y Rosales, F. (eds.), *Banana Root System: Toward a Better Understanding for Its Productive Management* (pp. 201-223). San José, Costa Rica, 3-5 november. Montpellier, France: INIBAP.

***Bacillus methylotrophicus* en la sanidad radicular del cultivo de banano (*Musa paradisiaca*)**

Marcell Maldonado Lucio^{1*}; Mairett Yuri Rodríguez-Balza²; Jesús Eduardo Caripe Galindo¹

¹Gerencia técnica, Mercadeo y Desarrollo, Interoc Ecuador; ²Consultor externo Gerencia técnica, Mercadeo y Desarrollo, Interoc Ecuador.

*Autor de

Correspondencia:

Marcell Maldonado Lucio
marcell.maldonado@interoc.biz

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Maldonado LM, Rodríguez-Balza MY y Caripe GJE.

2024. *Bacillus*

methylotrophicus en la sanidad radicular del cultivo

de banano (*Musa*

paradisiaca). *Acorbat*

Revista de Tecnología y

Ciencia 1(1): 62

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2462

RESUMEN

Ecuador, uno de los principales exportadores de banano, cuenta con una superficie de 170000 has del cultivo, y solo se emplea nematicidas en el 23.5% para el control de esta plaga, que afecta el sistema radicular de la planta, conduciendo a reducción del rendimiento. Por esta razón, Interoc desarrolló una serie de ensayos en diferentes localidades del país, empleando LALNIX ONIX, nematicida biológico, con concentración de *Bacillus methylotrophicus*, para promover la sanidad radicular en su producción. LALNIX ONIX mostró mayor control de nematodos totales respecto a los productos químicos o al testigo. Se reportó entre el 10 y 18% de incremento de productividad tanto de los productos químicos como el biológico, respecto al testigo.

Palabras clave: Nematicida, control biológico, *Radopholus similis*, nematodos, banano, Fitosanidad.

ABSTRACT

Ecuador, one of the main banana exporters, has an area of 170,000 hectares of cultivation, and only 23.5% of it uses nematicides to control this pest, which affects the root system of the plant, leading to a reduction in yield. For this reason, Interoc developed in different locations in the country, a series of trials using LALNIX ONIX, a biological nematicide, with a concentration of *Bacillus methylotrophicus*, to promote root health in its production. LALNIX ONIX showed greater control of total nematodes compared to the chemical products or the control. Between 10 and 18% increase in production of both chemical products and biological was reported, compared to the control.

Keywords: Nematicide, biological control, *Radopholus similis*, nematodes, banana, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

La superficie de siembra del cultivo de Banano en Ecuador es de aproximadamente 170000 hectáreas (Agrocalidad, 2023), y mayormente se concentra en tres provincias del litoral, como Guayas, Los Ríos y El Oro (92%) y entre otras 7 provincias (8%) (INIAP, 2023). Ecuador es uno de los mayores exportadores de banano a nivel mundial, cuenta con una participación del 2% del PIB general y cerca del 35% del PIB agrícola de Ecuador (Miranda et al., 2022; Agrocalidad, 2023).

En el banano, los nematodos son una de las principales plagas, que causan deterioro radical, lo cual retrasa el crecimiento normal de la planta, conduciendo a un bajo rendimiento del cultivo, y reducción de la calidad de los frutos (Acosta, M., 2021; Medina, R., 2022). En ese sentido, Espinoza (2017), señala que las pérdidas registradas en las bananeras a causa de los nematodos alcanzan hasta un 22%; para su control se recomienda el uso de nematicidas cuando la población total de nemátodos supera los 10.000 individuos por cada 100 gr de raíces, los más destructores son los endoparásitos migratorios tales como *Radopholus similis*, *Pratylenchus coffeae* y el semiendoparásito *Helicotylenchus multicinctus*, que están ampliamente distribuidos en todas las zonas bananeras; además, en ciertas zonas se han encontrado especies de nemátodos endoparásitos sedentarios (*Meloidyne* spp.).

Para la mitigación de estos organismos, el método más utilizado es el control químico, no obstante, en esta investigación se presentan resultados de una batería de ensayos realizados por INTEROC en el cultivo de banano, en diferentes localidades de Ecuador, empleando LALNIX ONIX para promover la sanidad radicular en su producción.

El producto LALNIX ONIX aplicado en los ensayos, es un nematicida biológico que está formulado como Suspensión Concentrada, con una concentración de *Bacillus methylotrophicus* GF 267 en forma de endoesporas 1×10^9 UFC /ml de producto comercial. Se recomienda en Ecuador para el control de *Radopholus similis* en el cultivo del banano en una dosis de 2.0 L/ha para aplicación en drench o riego. Este producto es formulado por la empresa multinacional LALLEMAND, su modo de acción es con efecto multisitio, como se muestra en la Figura 1, ingresan los metabolitos con efecto nematicida que contienen compuestos tóxicos volátiles tales como 6-dodecanone (44.38%), 1-tridecanol o tridecan-1-ol (17.67%), meso-2,3-diethyl-2,3-dimethyl-1,4-butanediol (6.83%) y 7-methyl-2-octyne; actúa directamente contra los nematodos inhibiendo la eclosión de huevos y reduciendo la población de nematodos juveniles y adultos. Además, estimula las defensas de la planta por

promover la producción de quitinasa y beta 1,3 glucanasa, así mismo, induce a la resistencia de la planta al estrés a través de la producción de enzimas catalasas y peroxidasas.

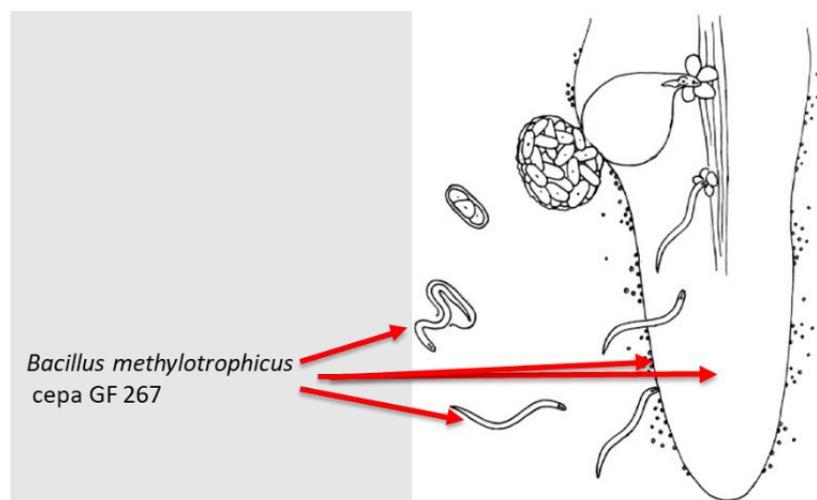


Figura 1. Modo de acción de LALNIX ONIX en las raíces del banano

De las 170,000 has que hay cultivadas en el Ecuador con Banano, “se registra un mercado de importación con productos nematicidas que atienden solo a 40000 has, para recibir tratamiento de control sobre esta plaga tan destructiva” (J. Caripe, Gerente técnico, Mercadeo y Desarrollo, Interoc S.A. Ecuador, comunicación personal, 17 de noviembre de 2023).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ensayos en dos fases, fase 1 de “Escalera de valor comercial” y la fase 2 “Demostraciones comerciales”.

Fase 1. La escalera de valor se llevó a cabo en una finca establecida de Banano convencional con variedad Willian, en la zona de Quevedo provincia de Los Ríos-Ecuador. Se establecieron en campo la distribución de todos los tratamientos (Cuadro 1) en un área de 1 ha por tratamiento con un diseño estadístico de GPSR (Grandes Parcelas Sin Repetición), con 8 unidades de muestreo por cada tratamiento y 5 plantas por cada unidad de muestreo.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en la escalera de valor comercial

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis/ha
Verango	Fluopyram	1 litro
Counter	Terbufos	20 gramos por unidad de producción
Mocap	Ethoprofos	20 gramos por unidad de producción
Solvigo	Tiametoxan+Abamectina	2 litros
LALNIX ONIX	<i>Bacillus methilotrophicus</i>	2 litros

El día de aplicación de los tratamientos se marcaron plantas que recién había sido cosechado el padre, para darle seguimiento a su desarrollo y poder evaluar las semanas a floración y el rendimiento de producción de cada tratamiento, con el objetivo de medir la respuesta de la aplicación de los nematicidas químicos y biológicos y su aporte a la productividad del cultivo de Banano.

Fase 2. Se efectuaron ensayos de demostraciones comerciales en 14 fincas distribuidas en cada una de las zonas bananeras del Ecuador (Norte, Centro y Sur) con diferentes condiciones de clima y de características de suelo, para poder medir el desempeño de LALNIX ONIX en diferentes escenarios, frente a un Testigo Absoluto sin ninguna aplicación. Se realizó todas las demostraciones comerciales en GPSR (Grandes Parcelas Sin Repetición), los tratamientos se distribuyeron en un área de 3 has por tratamiento, con 4 unidades de muestreo (u.m.) por cada uno y se muestrearon 5 plantas por cada u.m. El objetivo de estas demostraciones comerciales es medir la respuesta de la aplicación del nematicida biológico LALNIX ONIX en el control de las poblaciones de nematodos por cada género y obtener así sanidad radicular en el cultivo de Banano. En las dos fases del estudio, se muestreó en 4 momentos y se analizó en laboratorio las muestras de raíces para medir la sanidad de las mismas y la población de nematodos por cada género. Los momentos de evaluación fueron 15 días antes de la aplicación de los tratamientos (ADA), 30 días después de la aplicación (30DDA), 60 días después de la aplicación (60DDA) y la última evaluación a los 90 días después de la aplicación (90DDA).

Variables analizadas. Población total de nemátodos, ratio, semanas a floración, semanas a la cosecha, número de manos, número de cajas/ha/año y peso de la fruta. Las variables de la planta en cada momento de evaluación o de cosecha (producción), se analizaron vía paramétrica, empleando el análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey, una vez verificado el cumplimiento de los supuestos; en las cuales éstos no

se cumplieron, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y su respectiva prueba de comparaciones múltiples, para contrastar entre los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p\text{-valor} = 0.0729 < \alpha = 0.10$) en los 90 días después de la aplicación de los tratamientos (90DDA), se puede notar en la Figura 2 que, todos los tratamientos químicos y el biológicos han reducido las poblaciones totales de nematodos a diferencia del Testigo absoluto, donde creció la población inicial de nematodos. El tratamiento con LALNIX ONIX, presenta una menor población total de nematodos (1500) y se diferencia estadísticamente de los testigos comerciales (productos químicos) y del testigo absoluto.

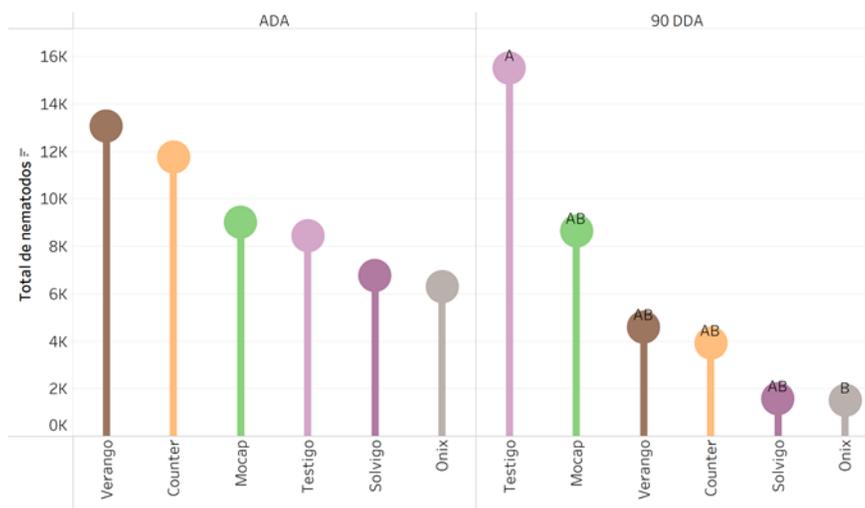


Figura 2. Población total de nematodos antes de la aplicación de los tratamientos y a los 90 días después de la aplicación.

Al comparar la población promedio de nematodos totales en los diferentes momentos de evaluación de los tratamientos químicos, LALNIX ONIX y el testigo absoluto, se puede notar en la Figura 3 que, los tratamientos químicos presentan una población total promedio mayor al tratamiento LALNIX ONIX.

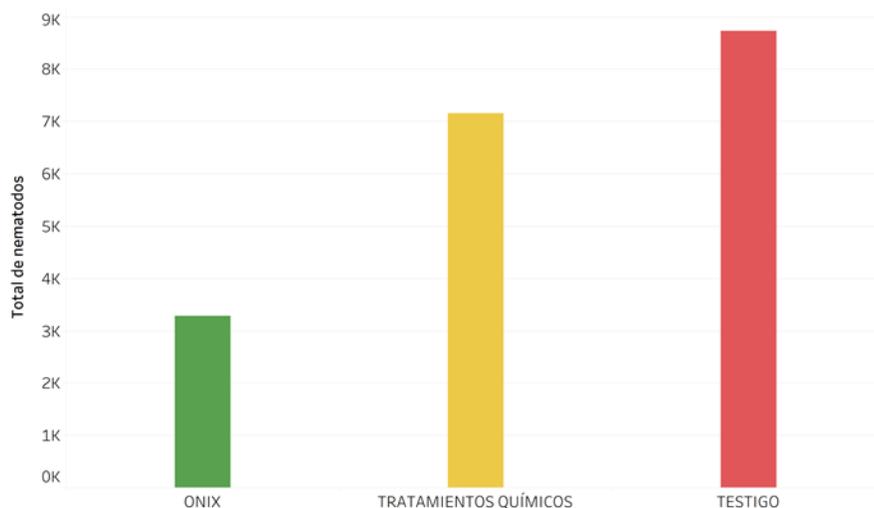


Figura 3. Contraste de población total de nematodos promedios en los momentos evaluados entre el LALNIX ONIX y los tratamientos comerciales (químicos) y el testigo absoluto.

En la Figura 4, se presentan los resultados de variables de cosecha, y se puede observar que estadísticamente hay diferencias entre los tratamientos para cada una de las variables. En cuanto al ratio ($p\text{-valor} = 0.0610 < \alpha = 0.10$), Mocap exhibe el mayor ratio y LALNIX ONIX, aunque estadísticamente es diferente al Mocap, presentó un ratio promedio muy cercano. En promedio el Counter mostró 20 semanas a floración ($p\text{-valor} = 0.0001 < \alpha = 0.10$), con una diferencia de 3 semanas menos respecto al testigo absoluto, LALNIX ONIX difiere con 2 semanas menos que el testigo absoluto. En cuanto a la edad a la cosecha, puede notarse que todos los tratamientos difieren estadísticamente del testigo absoluto ($p\text{-valor} = 0.0662 < \alpha = 0.10$), aunque en promedio todos sean similares.

Respecto a las variables de rendimiento, se encontraron diferencias estadísticas solo para el número de manos ($p\text{-valor} = 0.0730 < \alpha = 0.10$), en la Figura 5 se puede destacar que con LALNIX ONIX, se obtuvo el mayor número de manos. En cuanto al número de cajas/ha/año, estadísticamente no se evidenciaron diferencias ($p\text{-valor} = 0.2344 > \alpha = 0.10$), sin embargo, se puede notar que, respecto al testigo absoluto, Mocap produce 552 cajas/ha/año más y LALNIX ONIX 509 más que el testigo.

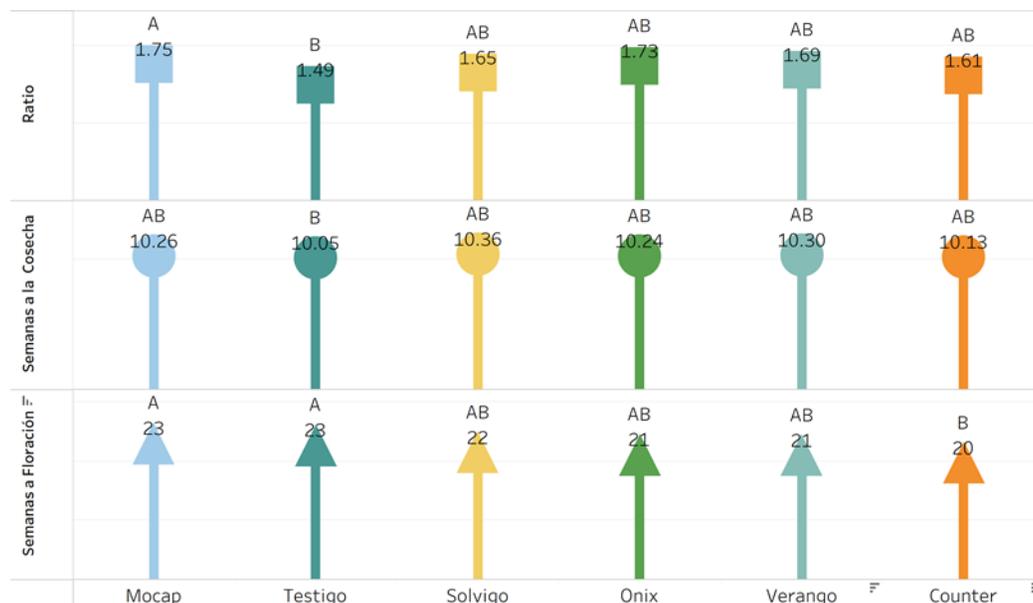


Figura 4. Variables de floración y cosecha.

Se observó en esta investigación que, todos los tratamientos evaluados para el control de las poblaciones de nematodos generan incremento en la producción de banano, obteniendo entre el 10 al 18% de productividad respecto al testigo absoluto. Se puede mejorar la sanidad de las raíces de las plantas reduciendo la población total de nematodos, lo que se traduce en mayores rendimientos del cultivo por ha. Esto coincide con el trabajo de Chávez-Velazco, Solórzano-Figueroa & Araya-Vargas (2009), quienes confirmaron que hay correlación significativa entre peso de raíz total ($r= 0,86$; $p\text{-valor}= 0,0287$) y el número de nematodos totales ($r= 0.89$; $p\text{-valor}= 0.0156$) con el número de manos por racimo. Por lo antes expuesto, se puede concluir que la sanidad radicular es directamente proporcional al rendimiento del cultivo.

La Figura 6, resume los resultados de las demostraciones comerciales de LALNIX ONIX en las 14 fincas productoras de banano seleccionadas. Aunque se encontraron diferencias estadísticas entre las fincas, se puede resaltar que, en general, en todas las fincas y zonas del país en las cuales se realizaron los ensayos, el LALNIX ONIX redujo significativamente la población total de todos los géneros de nematodos respecto al testigo absoluto.

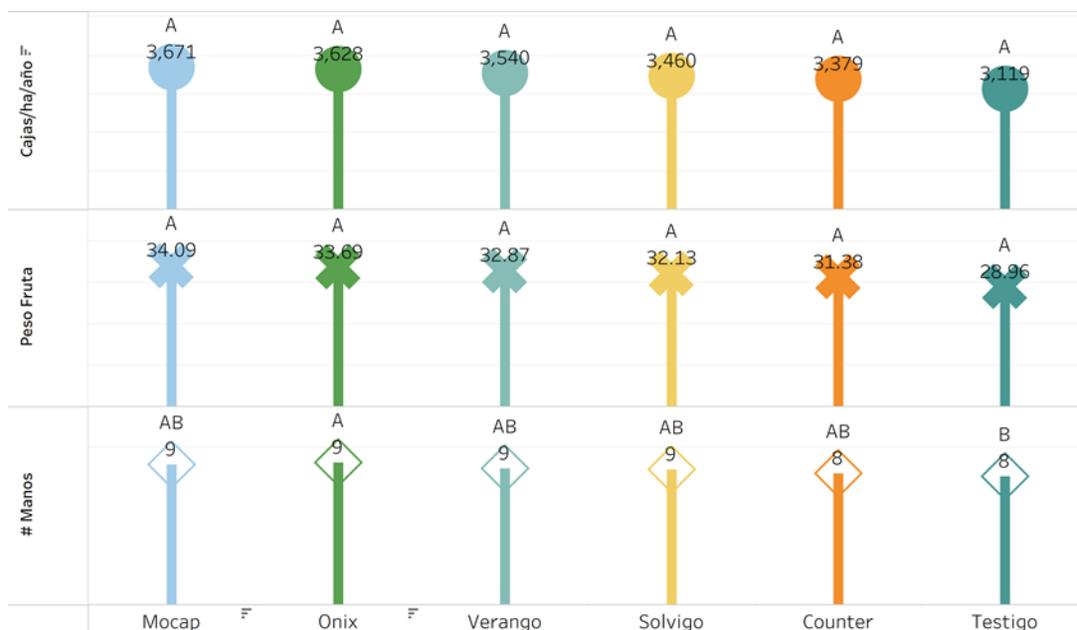


Figura 5. Variables de producción

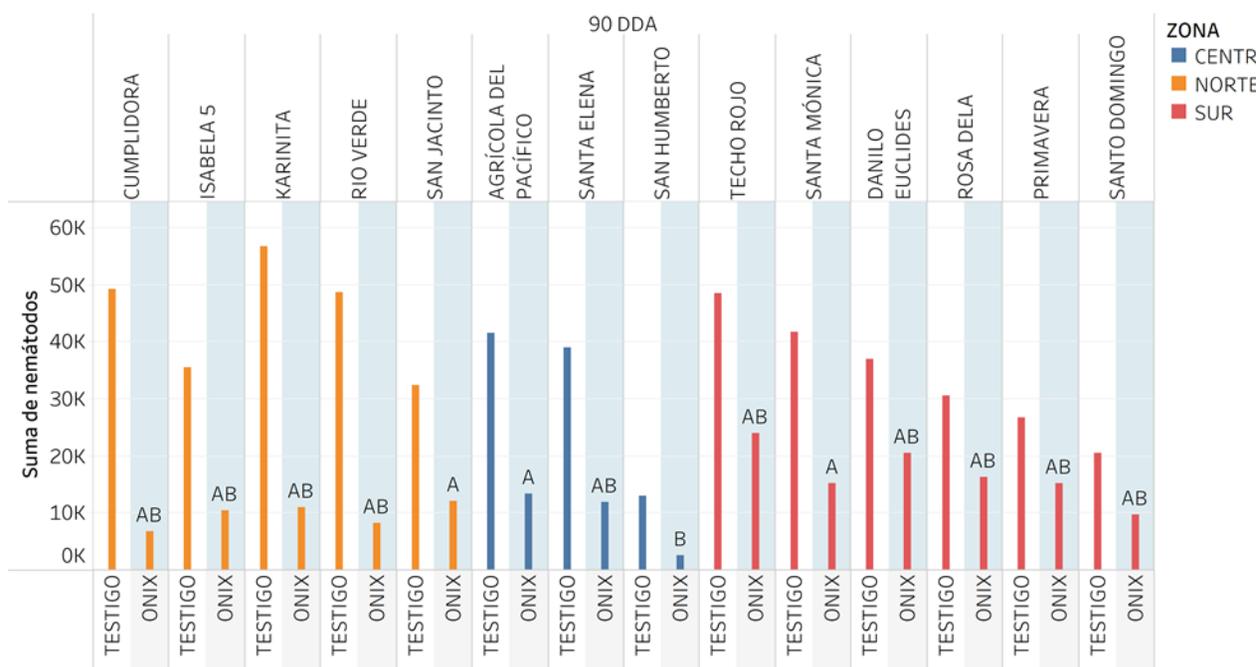


Figura 6. Población total de nemátodos a los 90 días después de la aplicación en cada una de las fincas.

El cultivo de Banano está desarrollado como un monocultivo, en algunos casos con una sobreexplotación de los suelos por un mal manejo de los mismos, esto genera problemáticas como la compactación o baja tasa de infiltración del agua lo que conlleva a la reducción de la flora microbiana del suelo en especial la parte benéfica.

En el trayecto de esta investigación y con base en la experiencia, se ha podido determinar que existe una serie de elementos y prácticas que se deben considerar para coadyuvar en la sanidad radicular con el control de nematodos, éstos se pueden resumir en:

1. Manejo de población y selección adecuada de las futuras generaciones de plantas.
2. Diagnóstico de raíces periódicamente para evaluar la sanidad radicular y la población de nematodos
3. Manejo integrado del cultivo, para mejorar las condiciones físicas y microbiana del suelo.

CONCLUSIONES

El uso de nematicidas es una herramienta fundamental para obtener una buena sanidad radicular e incrementar los niveles de producción del cultivo, como se pudo evidenciar en esta investigación, ya que todos los productos tanto de síntesis química como el LALNIX ONIX de fuente biológica, reportaron entre el 10 y 18% de incremento de producción en las condiciones experimentales frente al testigo absoluto.

Se puede emplear *Bacillus methylotrophicus* GF 267 (LALNIX ONIX) en el control de nematodos en banano, ya que mostró mayor control de nematodos totales respecto a los productos químicos empleados en el mercado o al testigo absoluto.

Las demostraciones comerciales revelaron un buen control de las poblaciones totales de nematodos con el tratamiento de LALNIX ONIX, en diferentes condiciones climáticas y diferentes tipos de suelo frente al testigo absoluto.

Se recomienda realizar muestreo de raíces y su análisis en laboratorio periódicamente para poder usar la herramienta de nematicidas de forma adecuada y oportuna, para obtener los mejores resultados de control sobre las poblaciones de nematodos y por ende tener mayores producciones del cultivo.

REFERENCIAS

1. Acosta, Mauricio J. 2021. Efecto de dos nematicidas para el control de nemátodos en dos variedades de banano: Cavendish y Gran Enano. Trabajo de grado. Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. 56 p.
2. Agrocalidad. 2023. https://www.agrocalidad.gob.ec/BPA/?dt_portfolios=banano. Consulta el 10 de noviembre de 2023.
3. Chávez-Velazco, C., Solórzano-Figueroa, F., & Araya-Vargas, M. 2009. Relación entre nematodos y la productividad del banano (Musa AAA) en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 351–360. <https://doi.org/10.15517/am.v20i2.4951>
4. Espinoza, A. 2017. Extractos botánicos con potencial aplicación en el control de nemátodos en el cultivo de banano. Tesis de grado. Universidad Técnica de Machala, El Oro, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11345>
5. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2023. <https://www.iniap.gob.ec/banano-platano-y-otras-musaceas/>. Consulta el 10 de noviembre de 2023.
6. Medina, R. 2022. Manejo integrado del nematodo (*Radopholus similis*) en el cultivo de banano (Musa AAA). Trabajo de grado. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador. 19 p.
7. Miranda, F., Garzón, V., Carvajal, H. & Rentería, J. 2022. Análisis de la producción y exportaciones del sector bananero ecuatoriano en el periodo 2010 – 2020. *Pol. Con.* Vol. 7, No 8, pp. 650-664.

Effects of different levels of source-sink ratio on yield and susceptibility to crown rot in Cavendish banana plants

Gibert Simon^{1,2*}, Durant Laurena^{1,2}, Daribo Marie-Odette^{1,2}, Sainte-Rose Jérôme^{1,2}, Guillermet Claire^{1,2}, De Lapeyre Luc^{2,3}

¹CIRAD, UPR GECCO, F-97285 Le Lamentin, Martinique, France. ²Univ Montpellier, F-34398 Montpellier, France. ³CIRAD, UPR GECCO, F-34398 Montpellier, France

*Autor de

Correspondencia:

Gibert Simon
simon.gibert@cirad.fr

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Simon G, Laurena D, Marie-Odette D, Jérôme SR, Claire G and Luc DL. 2024. Effects of different levels of source-sink ratio on yield and susceptibility to crown rot in Cavendish banana plants. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 63
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2463>

ABSTRACT

Banana crown rot is caused by a parasitic complex of fungal origin, with symptoms most often appearing after harvest. The source-sink ratio has an impact on disease development that could be deleterious with a high Black Leaf Streak Disease pressure. The aim of this work was to assess the effects of hand removal as a lever to rebalance this ratio to control crown rot in a production context. The results confirmed a significant effect of hand number and functional leaf area on banana susceptibility to crown rot. A high source-sink ratio resulting from hand removal enabled the fruit to better resist disease with limited impact on yield.

Keywords: Sigatoka, fungicide, drone, banana, phytosanity.

INTRODUCTION

Crown rot represents the most significant postharvest disease affecting the quality of exported bananas (Krauss and Johanson, 2000). This disease is caused by a fungal parasitic complex; whose most common pathogen appears to be the fungus *Colletotrichum musae* (Berk. and Curt.) (Lassois et al., 2010b). Various pre-harvest factors related to the pedoclimatic context or plant physiology are known to influence fruit susceptibility to crown rot (Ewané et al., 2013). It has been demonstrated, in particular, that a high source-sink (So-Si) ratio is associated with larger fruit size and enhanced tolerance of bananas to crown rot (Ewané et al., 2020; Lassois et al., 2010a). In banana plantations affected by Black Leaf Streak Disease (BLSD), the functional leaf surface can be significantly impacted by the development of necrotic areas and the associated deleafing practice. In cases of substantial epidemic pressure, functional



leaves losses can therefore lead to a noticeable imbalance in the So-Si ratio, which can, in turn, greatly affect banana size and susceptibility to crown rot.

Reducing the number of hands at flowering in order to rebalance the So-Si ratio could be one way to restore the fruit quality potential. However, this practice has never been evaluated under production conditions for a range of ablation levels acceptable to the sector. Therefore, the aims of this work were to assess, in a climatic context conducive to disease development, i) the impact of BLSD and deleafing on fruit susceptibility to crown rot; ii) the extent to which moderate levels of ablation at 5, 6 and 7 hands enable rebalancing of the So-Si ratio and improve fruit resistance to crown rot and iii) the impact of these ablation levels on yield (bunch weight) and fruit weight.

MATERIAL AND METHODS

The trial was conducted in Martinique from August to October 2022 (during the wet season) at two banana (*Musa acuminata* [AAA group, Cavendish subgroup]) conventional farms located in areas under medium and high BLSD pressure. At each farm, three plots were selected, within which 21 randomly chosen banana plants at the flowering stage had their bunches pruned to 5, 6 or 7 hands (7 plants per treatment). Two fingers were let on the first false hand, and the bunches were covered with polyethylene bags. BLSD was managed using a reasoned chemical control strategy guided by biological forecasting (Fouré & Ganry, 2008), combined with weekly leaf cutting to remove necrotic surfaces.

Various indicators were measured at the flowering stage, including pseudostem circumference at 1 m, banana plant height, total leaf number and hand number. The BLSD severity was assessed visually by estimating, for each leaf, the area affected by necrosis using Gaulh's scale (Gaulh, 1994). Total leaf number and the necrotic leaf area for each leaf rank was monitored biweekly until harvest. The quantity of green, photosynthetically active leaves was calculated by subtracting the necrotic area from the total leaf number. The area under the curves of the quantity of green leaves (AUC_GL) was also calculated. The bunches were harvested at a consistent physiological age of $925 \pm 10^\circ\text{C}$, and the bunch weight was measured without a stalk.

The third hand of each bunch was collected before the fruits entered the rinse tank and then processed in the laboratory using a sterile knife. A cluster of four fruits

was used to conduct crown rot sensitivity tests following the protocol of de Lapeyre de Bellaire et al. (2008). Inoculations were performed by depositing 50 μ L of a spore suspension at 104 conidia mL⁻¹ of a strain of *Colletotrichum musae* isolated at the Caribbean Agro-Environmental Center (Cirad, Quartier Petit Morne, Le Lamentin, Martinique). The length and width of the crown and of the necrotic area were measured using callipers to estimate their respective surfaces, and then the internal necrotic surface (INS) was calculated (Ewané et al., 2013). An external median finger was used for pomological measurements (size, grade and weight).

All statistical analyses were conducted with the R software (RStudio 2022.07.2). The lmer function from the R package lme4 (Bates et al., 2015) was used to build linear mixed models to test the effect of the quantity of green leaves and the number of hands (Hand_Number) on the response variables INS, bunch weight and fruit weight. A Log10 transformation was first performed to normalise the distribution of INS. The models selected were:

- (1) $\text{Log}_{10}(\text{INS}) \sim \text{AUC_GL} + \text{Hand_Number} + \text{AUC_F_V} : \text{Hand_Number} + (1 | \text{Field})$
- (2) $\text{Bunch_weight} \sim \text{AUC_GL} + \text{Hand_Number} + \text{AUC_F_V} : \text{Hand_Number} + (1 | \text{Field})$
- (3) $\text{Fruit_weight} \sim \text{AUC_GL} + \text{Hand_Number} + \text{AUC_F_V} : \text{Hand_Number} + (1 | \text{Field})$

The model's residuals were tested for independence and normality using Shapiro's test and graphical analyses. Fixed effects were tested using an ANOVA with a Type III sum of squares. The package emmeans was used to calculate the size of the effects. Post-hoc tests were performed to compare modalities 5, 6 and 7 hands using the pairs function.

RESULTS AND DISCUSSION

For each farm, marked differences in fruit susceptibility to crown rot (INS) were observed according to the number of hands remaining on the bunch (Figure 1).

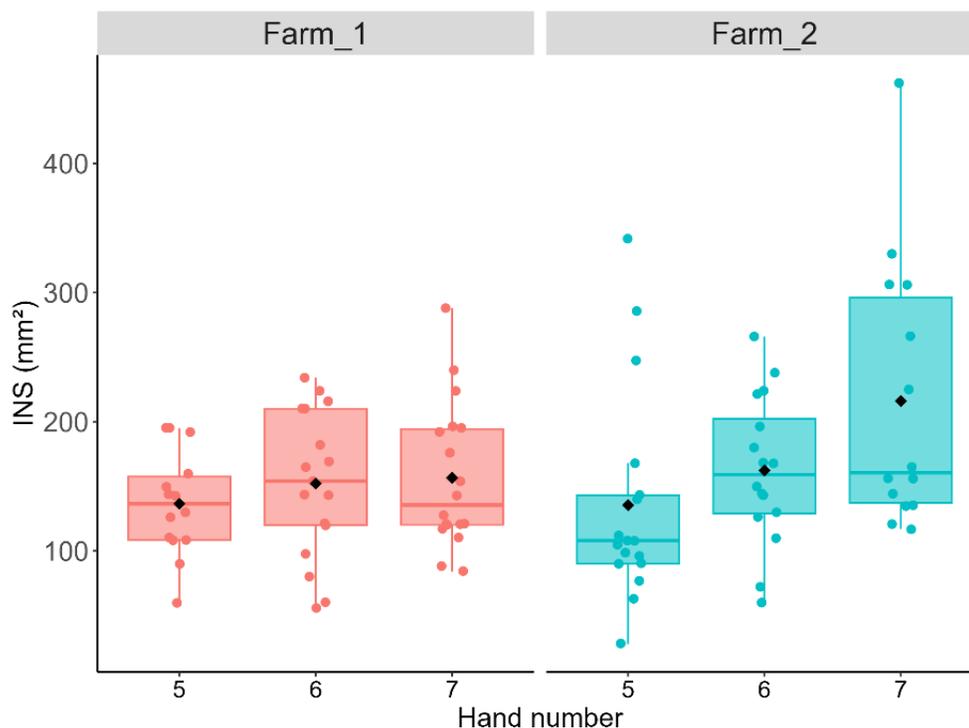


Figure 1. Boxplot representation of INS for each farm as a function of the number of hands. The coloured dots represent the INS values obtained from the tested crown samples, and the black dots represent the arithmetic means.

The results of the mixed-effect model show that the quantity of functional leaves from flowering to harvest (represented by the variable AUC_GL), the number of hands left after removal (represented by the variable Hand_Number), as well as their interactions (AUC_GL * Hand_Number), have a significant effect on the size of crown rot (represented by the variable INS) obtained after inoculation with *C. musae* ($p < 0.05$; Table 1 and 2). Also, the INS is negatively correlated with the quantity of green leaves and positively correlated with the number of hands left on the bunch (Table 1).

Table 1. Estimated parameters with standards errors and quality criterion summary of the linear mixed models.

Parameter	Dependent variable		
	log10(INS) (mm ²)	Bunch weight (kg)	Fruit weight (g)
(Intercept)	2.11 (0.03)	24.1 (1.2)	250.6 (6.8)
AUC_GL	-0.10 (0.03)	1.9 (0.7)	12.0 (5.1)
Hand_Number6	0.04 (0.05)	1.3 (1.1)	-21.9 (7.9)
Hand_Number7	0.12 (0.05)	1.6 (1.1)	-32.7 (8.0)
AUC_GL × Hand_Number6	0.05 (0.05)	0.8 (1.3)	8.9 (9.2)
AUC_GL × Hand_Number7	0.18 (0.04)	1.5 (1.0)	1.0 (7.6)
Num.Obs.	96	98	98
R ² Cond.	0.21	0.43	0.34
Akaike Inf. Crit.	1096.7	566.9	930.6
Bayesian Inf. Crit.	1117.2	587.6	951.3

Table 2. Results of the test of fixed effects (ANOVA with a Type III sum of squares).

Fixed effect	Dependent variable								
	log10(INS)			Bunch weight			Fruit weight		
	Chisq	d f	Pr(>Chisq)	Chisq	d f	Pr(>Chisq)	Chisq	d f	Pr(>Chisq)
(Intercept)	3966.4 9	1	< 2.2e-16 ***	380.2 0	1	< 2.2e-16 ***	1449.5 6	1	< 2.2e-16 ***
AUC_GL	11.47	1	0.001***	7.89	1	0.004 **	6.02	1	0.014 *
Hand_Number	6.63	2	0.036 *	2.12	2	0.346	19.80	2	5.006e-05 ***
AUC_GL:Hand_Numb er	6.99	2	0.030*	1.88	2	0.390	0.86	2	0.650

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ df: degree of freedom

In this experiment, the quantity of "source" leaves was not fixed but was modulated by the pressure linked to BLSD and the deleafing practised on each farm. There is therefore a strong interest in maximising the number of green leaves between flowering and harvesting to limit the development of crown rot.

The effect size was significantly different between 7 and 5 hands on the bunch ($p = 0.017$), decreasing from 169.8 mm² to 125.9 mm², or 25.9%, on average (Table 3).

Table 3. Effect size for the different levels of ablation.

	Hand Number	Estimate	SE	df	lower.CL	upper.CL
log10(INS) (mm ²)	5	2.10	0.033	26.4	2.03	2.17
	6	2.14	0.036	32.3	2.07	2.22
	7	2.23	0.034	27.9	2.16	2.30
Fruit weight (g)	5	252	6.68	14.1	237	266
	6	231	7.06	16.8	216	246
	7	219	6.73	14.6	205	233
Bunch weight (kg)	5	24.3	1.21	9.00	21.6	27.1
	6	25.7	1.25	10.18	22.9	28.5
	7	26.1	1.21	9.15	23.4	28.8

SE: standard error; df: degree of freedom; CL: confidence level of 0.95

However, the effect size trend is not significant when measured with only a one-hand difference. Going from 7 to 6 hands ($p = 0.170$) and from 6 to 5 hands ($p = 0.66$) offers better resistance to crown rot, but not in a significant way, with the value at 6 hands having an intermediate mean effect size of 138.0 mm². These results suggested that sufficient removal of the hands would give the banana plants enough resources to synthesise secondary metabolites with properties that would make the fruit more resistant to crown rot, such as phenolic compounds (Ewané et al., 2020). Although this phenomenon had already been observed for very strict ablations (1 or 2 hands on the bunch), the effect at 5 hands proves to be interesting for its significant reduction in susceptibility.

However, this level of ablation is acceptable to the sector only if yields are not too severely reduced by the loss of additional hands. The impact of hand number on bunch weight was therefore studied. As shown in Figure 2 and Table 1, there was no significant difference in bunch weight between bunches with 5 hands and the ones with 6 or 7 hands (Figure 2-A).

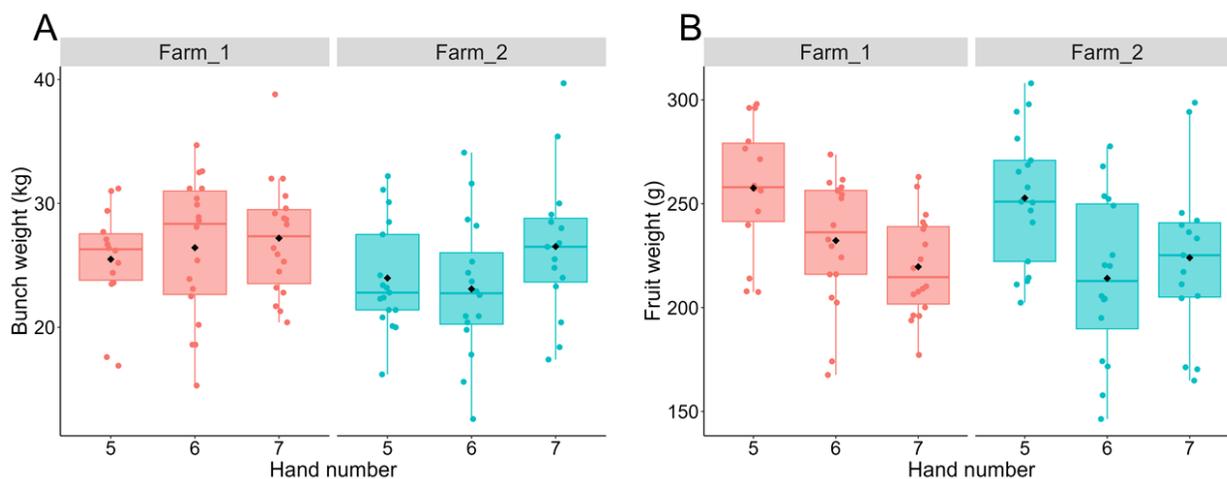


Figure 2. Boxplot representation of bunch weight (A) and fruit weight (B) as a function of ablation level. The coloured dots represent the INS values obtained on the tested crown samples, and the black dots represent the arithmetic means.

This lack of difference within bunch weight is explained by the significantly higher fruit weight on the 5-hand bunches ($p < 0.05$; Table 2 and 3; Figure 2-B) which compensates for the loss of hands. In addition, the increase in fruit weight and size also leads to more valuable fruits. From 7 hands upwards, assimilates from photosynthetic activity could be limited and might be unavailable to make the fruit grow.

CONCLUSIONS

The results of this study confirm the effect on susceptibility to crown rot of the cumulative number of functional leaves from flowering to harvest and of the number of hands left on the bunch after removal. The originality of this study lies in the demonstration of this type of effect within an experiment carried out with a range of ablation levels acceptable to the profession (5, 6 and 7 hands). It reveals that the ablation level at 5 hands is the most effective among the three levels tested for obtaining a fruit that is more resistant to crown rot. Importantly, the yield analysis shows that the impact on bunch weight remains limited. This is due to an improvement in the fruit weight, which compensates for the decrease in number resulting from the removal of hands.

With increasing restrictions on use of fungicides in the field and post-harvest, these results argue in favour of surgical leaf removal in order to preserve the functional

leaf area as effectively as possible during the fruit-filling phase. The results also indicate the benefits of more severe hand removal at flowering in order to compensate, to some extent, for the defoliation caused by BLSD and defoliation. The implementation of these practices by farmers appears to be a viable solution, especially during periods favourable to the onset of these diseases, such as the rainy season. These practices could potentially be extended to organic banana farms, which are particularly affected by storage diseases and the lack of curative means of intervention provided by fungicides.

REFERENCES

1. de Lapeyre de Bellaire, L., Chillet, M., & Chilin-Charles, Y. (2008). Determination of banana fruit susceptibility to post-harvest diseases: wound anthracnose, quiescent anthracnose and crown rot. *Fruits*, 63, 183-186. <https://doi.org/10.1051/fruits:2008009>
2. Chillet, M., de Lapeyre de Bellaire, L., Hubert, O., & Mbéguié-A-Mbéguié, D. (2008). Measurement of banana green life. *Fruits*, 63(2), 125-127. <https://doi.org/10.1051/fruits:2007055>
3. Ewané, C. A., Lassois, L., Brostaux, Y., Lepoivre, P., & de Lapeyre de Bellaire, L. (2013). The susceptibility of bananas to crown rot disease is influenced by geographical and seasonal effects. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35(1), 27-36. <https://doi.org/10.1080/07060661.2012.733731>
4. Ewané, C. A., Nott, K., Lassois, L., Lepoivre, P., & de Lapeyre de Bellaire, L. (2020a). Severe modifications in source-sink ratio influence the susceptibility of bananas to crown rot and its phenolics content. *Plant Pathology*, 69(9), 1740-1753. <https://doi.org/10.1111/ppa.13243>
5. Fouré, E., & Ganry, J. (2008). A biological forecasting system to control Black Leaf Streak Disease of bananas and plantains. *Fruits* 63, (5) : 311-317. <https://doi.org/10.1051/fruits:2008029>
6. Gauhl F. 1994. Epidemiology and ecology of Black Sigatoka on plantain and banana (*Musa* spp.) in Costa Rica, Centro América. PhD. Thesis of the Systematisch - Geobotanische - Institut der Georg - August - Universität Göttingen and Institut für Pflanzenpathologie und Pflanzenchutz der Georg - August - Universität Göttingen. INIBAP.
7. Jones, D. R. (2000). Diseases of banana, abacá and enset.
8. Krauss, U., & Johanson, A. (2000). Recent advances in the control of crown rot of banana in the Windward Islands. *Crop Protection - CROP PROT*, 19, 151-159. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00097-6)
9. Lassois, L., Bastiaanse, H., Chillet, M., Jullien, A., Jijakli, M. H., & de Lapeyre de Bellaire, L. (2010a). Hand position on the bunch and source-sink ratio influence the banana fruit susceptibility to crown rot disease. *Annals of Applied Biology*, 152(2), 221-229. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00381.x>
10. Lassois, L., Jijakli, M. H., Chillet, M., & de Lapeyre de Bellaire, L. (2010b). Crown rot of bananas: preharvest factors involved in postharvest disease development and integrated control methods. *Plant Disease*, 94(6), 648-658. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-6-0648>

Evaluación de extracto de plantas de la familia Lamiaceae para la protección de la pudrición de la corona del banano

William Cardona-Garzón¹; Juliette Osorio¹; Omar Hoyos¹, Sebastián Guzmán-Cabrera^{1*}

¹Laboratorio de Control de Calidad de Bioinsumos Safer Agrobiológicos, Carrera 50C No 10-Sur-199, Medellín-Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Sebastián Guzmán-Cabrera
direcciontecnica@safer.com.co

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Cardona-Garzón W, Osorio
J, Hoyos O y Guzmán-
Cabrera S. 2024.

Evaluación de extracto de
plantas de la familia
Lamiaceae para la
protección de la pudrición
de la corona del banano.

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
64

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2464](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2464)

RESUMEN

Las restricciones del uso de fungicidas de síntesis química en producciones agrícolas representan un riesgo para la sanidad del banano de exportación. Por esto, se evaluaron en los departamentos de Magdalena y Antioquia Colombia mezclas de extractos de plantas Lamiaceae por su actividad fungistática. Los aceites esenciales de Albahaca, Romero, Tomillo y Orégano, se compararon con la respuesta de la molécula Azoxistrobina y agua como testigo negativo. Los resultados indican que tanto la mezcla de aceites esenciales como el Azoxistrobina arrojaron incidencias de pudrición de corona menores al 10% con un p -value < 0.05, indicando que estos extractos podrían ser una alternativa viable para la protección de los frutos de banano en postcosecha.

Palabras clave: Aceite esencial, plantas aromáticas, postcosecha, frutas, Fitosanidad.

ABSTRACT

Restrictions on the use of synthetic chemical fungicides in agricultural production pose a risk to the health of export bananas. For this reason, mixtures of Lamiaceae plant extracts were evaluated in the departments of Magdalena and Antioquia, Colombia, for their antifungal activity. The essential oils of Basil, Rosemary, Thyme, and Oregano were compared with the response of the Azoxistrobina molecule and water as a negative control. The results indicate that both the mixture of essential oils and Azoxistrobina yielded crown rot incidences of less than 10%, indicating that these extracts could be a viable alternative for the protection of banana fruits in post-harvest.

Keywords: Essential oils, aromatics plants, postharvest, fruits, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con más de 88 mil hectáreas sembradas de banano, que produjeron más de 2.2 millones de toneladas de fruta al año, de las cuales más del 86% correspondían a mercados de exportación, razón por la cual es considerado el quinto productos de banano en el mundo (FAO, 2023-1). Además, la industria bananera colombiana es un eslabón muy importante en la economía puesto que genera más de 150 mil empleos directos e indirectos (Pinzón et al., 2022), por lo cual, es imperante el buen funcionamiento y sostenimiento de esta cadena productiva. No obstante, el mercado del banano ha presentado dos retos, el primero las fluctuaciones económicas del mercado y el segundo la restricción de pesticidas implementados en el manejo integrado del cultivo, al punto que la Unión Europea ha restringido el 54% de los pesticidas empleados en el manejo de plagas y enfermedades del banano (FAO, 2023-2).

Por esta razón es importante encontrar alternativas para dar el manejo agronómico apropiado en pre-cosecha y post-cosecha para cumplir los estándares de calidad de la fruta producida. En el caso de afectaciones más importantes de postcosecha del banano se encuentra la pudrición de corona cuya afectación puede oscilar entre el 10 y el 28% (Díaz Ochoa et al., 2022) causada por agentes infecciones del género *Thielabiopsis*, *Colletotrichum* sp. y *Fusarium* spp. (Aguilar-Ancota et al., 2013), que provocan la oxidación y posterior pudrición en los cortes que presentan las coronas de las manos del banano, y dada la restricción de moléculas de pesticidas se requiere de productos amigables con el medio ambiente y que permitan dar protección a la fruta en postcosecha. Por tal razón, se realizó la siguiente investigación para evaluar productos naturales para controlar la pudrición de corona de banano, con el fin de encontrar alternativas amigables con el medio ambiente, enfocado a prevenir afecciones en postcosecha de frutos, como el caso de la pudrición de corona en la postcosecha de este fruto, y de esta manera ejercer un control con bajo riesgo toxicológico, reduciendo el efecto nocivo al ambiente, a los operarios y finalmente al consumidor.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó inicialmente sobre patógenos de frutos en postcosecha correspondientes a dos cepas *Colletotrichum* sp. (PI C. gloeo y PI BR47), *Lasiodiplodia* sp. (PI SR14) y *Diaporthe* sp. (PI SR34), con aislamientos provenientes del Centro de Investigaciones Biológicas CIB, los cuales se hicieron por medio de comparación de porcentaje de inhibición en caja de Petri con PDA + cloranfenicol, suplementado con extracto de romero, tomillo, orégano y la mezcla de éstos tres, los

cuales fueron comparados con los tratamientos de azoxistrobin como testigo positivo y agua como testigo absoluto. Posteriormente, se seleccionaron los tratamientos con mayor porcentaje de inhibición fúngica, los cuales se evaluaron sobre frutos de banano Cavendish de 11 semanas de desarrollo aproximadamente y posterior al proceso de desmane y deslatex. De estos frutos se realizaron aislamientos de los hongos asociados a la corona del banano, por medio de metodología de siembra en medio PDA + Cloranfenicol, para su respectiva identificación y verificación de resultado. En la segunda fase se seleccionaron frutos semejantes a las condiciones anteriormente descritas, sobre los cuales se procedió a evaluar la mezcla de los extractos inicial (T1), así como una mezcla de extractos en la cual se agregaron componentes microbianos (T2), los cuales comparados respecto al tratamiento de Azoxistrobina (T4) y el tratamiento testigo negativo agua (T0) (Cuadro 1). Los frutos se asperjaron con bomba manual, descargando en promedio 200 cc/caja de banano, cubriendo totalmente las coronas de los clusters previo al embalado en las cajas tipo exportación, los cuales luego fueron llevados a cámara de simulación de vuelo, a temperatura promedio de 14°C. Se realizó un monitoreo previo al embalado de los frutos tratados, los cuales luego de ser embalados y rotulados, se ingresaron a la cámara de viaje simulado durante un periodo aproximado de 20 días.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados según etapa de desarrollo.

Fase de selección de extractos		Fase de selección de tipo de mezcla		Fase de evaluación de concentración	
Tratamientos iniciales	Descripción	Tratamientos iniciales	Descripción	Tratamientos iniciales	Descripción
T1	Extracto de romero, tomillo y orégano.	T0	Agua	T0	Agua
T2	Mezcla de extractos	T1	Mezcla de extractos 1	T1	Extracto final 2cc/L
T3	Azoxistrobina (Amistar®)	T2	Mezcla de extractos 2	T2	Extracto final 3cc/L
		T3	Azoxistrobina (Amistar®)	T3	Extracto final 4cc/L
				T4	Extracto final 5cc/L

Éste mismo proceso se llevó a cabo con la fruta en la tercera fase de evaluación en la cual se seleccionó la mezcla de extractos que mejor control arrojó, y del cual, se procedió a evaluar las dosis de 2 cc/L, 3cc/L, 4 cc/L y 5 cc/L comparando el grado de pudrición de corona entre estos extractos (Cuadro 1) y un testigo negativo, evaluándolos en dos localidades correspondientes a la zona de Urabá-Antioquia y zona bananera-Magdalena. Luego de cumplido el periodo de viaje simulado, se realizó la

lectura definitiva y con los datos obtenidos de las unidades experimentales, y posteriormente se realizaron los análisis estadísticos respectivos.

Diseño experimental

Para el montaje experimental de las tres fases de evaluación se implementó un diseño completamente a azar, con cuatro repeticiones por tratamiento, cada repetición correspondía a una caja tipo exportación de banano correspondiente a la unidad experimental, la cual contaba como universo muestral de aproximadamente 19 cluster cada una, para un total de 76 cluster por tratamiento, sobre los cuales se realizó la respectiva aplicación y posterior monitoreo. Los datos fueron analizados en el software libre R® versión 4.2.1, en el cual, por ausencia de normalidad de los residuales del modelo ANOVA con la prueba de Shapiro-Wilk y falta de heteroscedasticidad con la prueba de Bartlett, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, y la prueba de comparación de medianas de Dunn, con las cuales se estableció la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. La efectividad del producto identificó por la disminución en el nivel de daño de la fruta sometida a los tratamientos, evaluados de acuerdo a la escala de Frossard.

Monitoreo e Identificación de agentes causales sobre los frutos

El monitoreo de las unidades experimentales se realizó previo y posterior al embalado de los frutos, por medio de lectura de placa con improntas de las coronas, con el fin de registrar su estado inicial de las frutas y final luego de cumplir el periodo de 20 días, verificando al mismo tiempo la presencia o ausencia del desarrollo de pudriciones por medio de la escala de Frossard.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los patógenos de frutos en postcosecha se evaluaron dos cepas *Colletotrichum* sp. (PI C. gloeo y PI BR47), así como *Lasiodiplodia* sp. (PI SR14) y *Diaporthe* sp. (PI SR34). La evaluación de porcentaje de inhibición fúngica del testigo Azoxistrobin (Amistar®) fue del 100%, seguido del tratamiento correspondiente a la mezcla de los extractos con porcentajes de inhibición del 60 al 90%, el tercer mejor resultado fue el extracto de romero con inhibición fúngica que oscilaron del 25 al 85% de inhibición de

los hongos, el siguiente tratamiento correspondió al tomillo oscilando entre el 10 y el 80% de inhibición fúngica, y finalmente el tratamiento con extracto de orégano que presentó un inhibición que osciló entre el 0 y el 20%, superando únicamente el testigo absoluto en el cual la inhibición fue del 0%.

De este modo, se evidenció que el extracto de orégano, a pesar de que está reportado con actividad, para el presente estudio no arrojó un resultado representativo. Los resultados de inhibición de las dos cepas de *Colletotrichum* sp. y *Diaporthe* sp. fue semejante entre el extracto de romero, tomillo y la mezcla de los tres extractos, no obstante, se evidenció que éste último tratamiento presentó un efecto de más amplio espectro y logró controlar mejor la cepa de *Lasiodiplodia* sp., por lo cual, se infiere que la combinación de los extractos vegetales podrían generar un efecto de control en postcosecha más efectivo y con espectro más amplio que los demás tratamientos.

La evaluación de la mezcla de los extractos vegetales (T1), la mezcla de los extractos con componentes bacterianos (T2) y el tratamiento con azoxistrobina (T3), no presentaron diferencia estadística significativa entre éstos (Figura 1), cuando se evaluó el porcentaje de incidencia de pudrición de corona, indicando que tanto la mezcla de los extractos, como la mezcla de extractos con aislados bacterianos presentaban actividad biológica para el control de la pudrición de corona, y éstos tres tratamientos a su vez, presentaron, diferencia estadística con el tratamiento testigo T0, con un $p\text{-value} < 0.025$, el cual presentó mayor incidencia de pudrición de corona en los frutos, tal como se esperaba, al ser coronas que no tenían agentes de control fúngico.

Adicionalmente, se evidenció que la mezcla de los extractos en presencia de aislados bacterianos, aportaba un efecto de protección adicional, al tener menores grados de afectación de fruta que las encontradas en el tratamiento T1 correspondiente a la mezcla de extractos. Con lo cual se infiere que, aunque la mezcla de los aceites esenciales extraídos de las plantas aromáticas de la familia Lamiaceae arrojan control de pudrición de corona, éstos pueden ser sinérgicos cuando van acompañados de aislados bacterianos.

Dado que, el tratamiento T2, de la mezcla de los extractos con aislados bacterianos presentó mejor actividad biológica que el tratamiento T1, y que el T2, fue semejante al tratamiento T3 correspondiente a Azoxistrobina, se procedió a evaluar las dosis de 2 cc/L, 3cc/L, 4 cc/L y 5 cc/L del tratamiento T2 para determinar su eficiencia en las localidades de Urabá y Magdalena Colombia, usando como testigo el tratamiento T0 correspondiente a agua.

Análisis de varianza incidencia Localidad Urabá

El análisis de varianza evidenció que no existe diferencia estadística en la incidencia de los distintos tratamientos con un $p\text{-value} > 0.652$, no obstante, si se logra evidenciar que efectivamente el tratamiento T0, presentó el mayor porcentaje de incidencia, mientras que el tratamiento T2, presentó la menor incidencia (Figura 2).

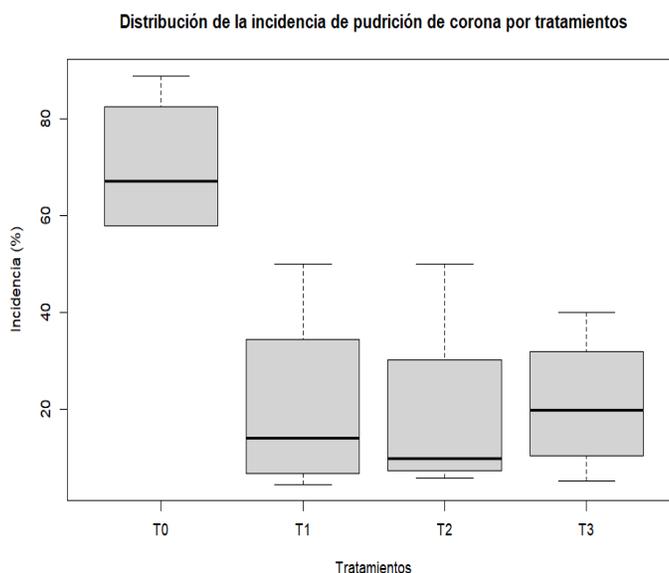


Figura 1. Distribución de la incidencia de pudrición de corona por tratamiento.

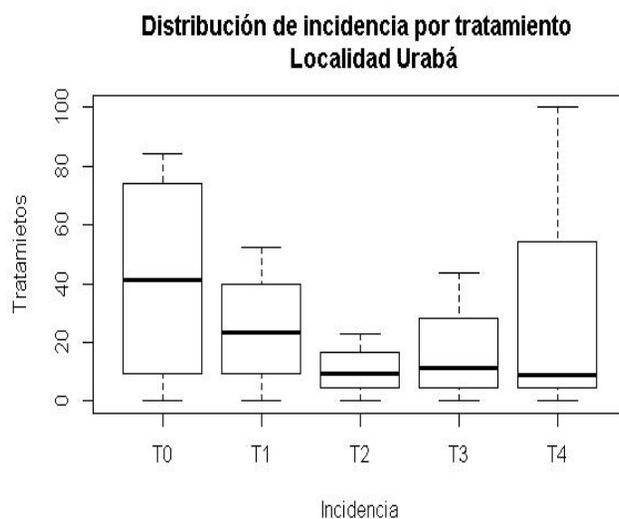


Figura 2. Distribución de Incidencia de pudrición de corona promedio localidad Urabá.

Análisis de varianza incidencia Santa Marta

El análisis de varianza evidenció que existe diferencia estadística en la incidencia con un p-value <0.05 del tratamiento T0, el cual presentó el mayor porcentaje de incidencia, mientras que el tratamiento T2, presentó la menor incidencia (Figura 3). La comparación de medias arrojó que no existe diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento T0, T1 y T4, pero el primero si existe diferencias entre el T0 y el T3 y T2, aunque entre estos dos no hay diferencias estadísticas respecto el T1 y T4.

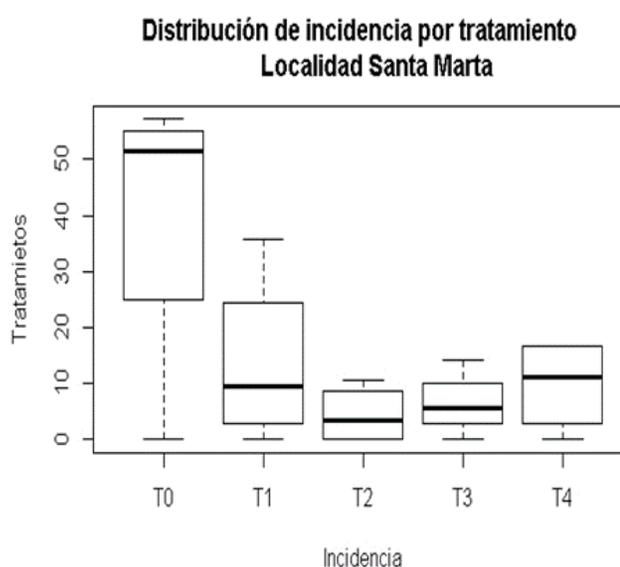


Figura 3. Distribución de incidencia de pudrición de corona promedio localidad Santa Marta.

Hongos encontrados en la corona del banano luego de aplicación de tratamientos

Se evidenció que los tratamientos T2 y T3, presentaron mejor protección de la corona, pues no se evidenciaba crecimiento conspicuo de micelio, en el caso de los tratamientos T0, T1 y T4, a pesar de que conspicuamente no se evidenciaba desarrollo de pudrición de corona, al llevarlos al estereomicroscopio, se evidenciaba el crecimiento de algunas estructuras miceliales. Dentro de los hongos encontrados a nivel de postcosecha del banano se destacaron dos géneros *Thielaviopsis*, *Cladosporium* y *Fusarium*. No obstante, no se encontró el hongo *Colletotrichum* sp, que usualmente está asociado a los frutos de banano.

CONCLUSIONES

El control de pudrición de corona del banano con las mezclas de extractos vegetales de la familia Lamiaceae, evidenció buena actividad biológica, puesto que en ninguno de los casos se desarrolló dicha pudrición, no obstante, al realizar el seguimiento microbiológico por medio del montaje de placas al microscopio, se evidenció que en algunas manos había presencia de algunos hongos asociados al fruto del banano como *Thielaviopsis*, *Cladosporium* y *Fusarium*, no obstante, su crecimiento fue limitado y controlado, de tal manera que no eran visibles a simple vista y su presencia no desencadenó pudrición de corona, indicando así un efecto fungistático. De los cuatro tratamientos de la mezcla de extractos evaluados, se evidenció que los dos mejores tratamientos correspondieron a las dosis de 3 cc/L y 4 cc/L, logrando la protección de la corona del banano y evitando el desarrollo de pudrición de corona del fruto, indicando que este tipo de tecnologías podrían ser establecidas como alternativas para la protección de los frutos del banano, como opción ante la restricción de aplicación de moléculas de síntesis químicas en los alimentos frescos.

REFERENCIAS

1. Aguilar-Ancota, R. A., Raymundo, R. B. G., Bejarano, J. A. D., & Duque, E. A. M. 2013. Hongos asociados a la pudrición de la corona en frutos de banano orgánico (*Musa spp. L.*) en Piura, Perú. RIAA, 4(1). pp. 81-88.
2. Díaz Ochoa, Juan Diego; Salcedo Galán, Felipe; Vaca Bohórquez, Ariel Mauricio, Pinzón Núñez, Andrés Mauricio, Zapata Henao, Sebastián. 2022. Recubrimiento funcional a base de almidón de yuca modificado (incorporando agentes antifúngicos) sobre los procesos de maduración y pudrición de corona en banano Cavendish. Centro de investigación del banano CENIBANANO. Informe anual, abril 2022. pp. 35-47.
3. FAO. 2023-1. Banana Market Review 2022. Rome.
4. FAO, 2023-2, Foro Mundial Bananero (FMB) Comisión de Trabajo 01 en Sistemas de Producción Sostenible e Impacto Medioambiental.
5. Pinzón, Andrés Mauricio; Betancourt Vásquez, Mónica; León Pacheco, Rommel Igor; Rodríguez Yzquierdo, Gustavo Adolfo; Zapata Henao, Sebastián. 2022. SELECCIÓN DE CULTIVARES DE BANANO CON FUENTE DE RESISTENCIA A *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense – Foc R4T EN COLOMBIA. Centro de investigación del banano CENIBANANO. Informe anual, abril 2022. pp. 232-244.

Uso de *Melaleuca alternifolia* para el manejo de pudrición de corona (*Colletotrichum musae*, *Fusarium verticillioides*) en postcosecha de banano

José Alfredo Flores-Yáñez¹; Marco Tulio Vega-Gutiérrez^{1*}; Luciano Martínez-Bolaños²; Jesús Torres-García³; Juan Cristobal Fernández-Arroyo¹.

¹STK bio-ag technologies México. ²Universidad Autónoma Chapingo. ³Instituto Politécnico Nacional.

*Autor de

Correspondencia:

Marco Tulio Vega-Gutiérrez
mvega@stk-ag.com

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Flores-Yáñez JA, Vega-Gutiérrez TV, Martínez-Bolaños L, Torres-García J y Fernández-Arroyo JC. 2024. Uso de *Melaleuca alternifolia* para el manejo de pudrición de corona (*Colletotrichum musae*, *Fusarium verticillioides*) en postcosecha de banano. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 65
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2465>

RESUMEN

Se evaluó la aplicación en postcosecha de un producto a base de *Melaleuca alternifolia* (a 2.0, 3.0 y 5.0 mL/L), se asperjaron 175 mL de mezcla/20 kg de fruta y posteriormente la fruta se refrigeró a 15.5°C por 22 días, pasado este tiempo se puso a $\pm 28^{\circ}\text{C}$ y se evaluó el daño de pudrición de corona a los 3, 5 y 10 días. Los resultados mostraron que el producto a base de *M. alternifolia* en todas las dosis ofrece controles >50 %, además de estadísticamente las eficacias fueron similares a las de un fungicida químico (Azoxistrobin + Fludioxonil) a 1.5 mL/L, el cual logró eficacias de 83.3%.

Palabras clave: Carga química, manejo biorracional, Postcosecha, Fitosanidad.

ABSTRACT

The postharvest application of a product based on *Melaleuca alternifolia* was evaluated (at 2.0, 3.0 and 5.0 mL/L), 175 mL of mixture/20 kg of fruit were sprayed and subsequently the fruit was refrigerated at 15.5°C for 22 days, after this time it was placed at $\pm 28^{\circ}\text{C}$ and crown rot damage was evaluated after 3, 5 and 10 days. The results showed that the product based on *M. alternifolia* at all doses offers controls >50%, in addition to statistically the efficiencies were like a chemical fungicide (Azoxystrobin + Fludioxonil) at 1.5 mL/L, which achieved efficacies of 83.3%.

Keywords: Chemical Loading, Biorational Management, Postharvest, phytosanitary.



INTRODUCCIÓN

Mundialmente, uno de los frutos más consumidos es el banano, siendo México uno de los principales productores de este cultivo, pues cada año se cultivan más de 40,000 ha que representan ingresos de más de 400 millones de dólares para los productores (SIAP, 2022).

El cultivo de banano presenta muchos retos biológicos durante su producción como la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), entre otros; sin embargo, después de la cosecha, las enfermedades no se detienen pues generalmente, durante el envío la maduración y el almacenamiento de la fruta, se pierde entre 10 - 86 % por pudriciones de la base del racimo de frutos, llamada comúnmente como pudrición de corona y causada por un complejo de hongos, siendo *Colletotrichum musae* el más frecuente (Lassois & Bellaire, 2014).

El manejo de la pudrición de corona con fungicidas químicos es el preferido por los productores, y en general ha mostrado buenas eficacias, por ejemplo Scribano & Garcete (2016) reportaron al Azoxistrobin, Tebuconazole y Carbendazim con buenos niveles de control de pudrición de corona por hasta 9 días en condiciones de anaquel; sin embargo el constante uso de herramientas químicas plantea grandes desafíos como la aparición de poblaciones de hongos resistentes al efecto de ciertos fungicidas, contaminación del medio ambiente, la salud de aplicadores y consumidores, entre otros.

El uso de extractos vegetales para el manejo de enfermedades en postcosecha ha mostrado resultados prometedores, sin embargo, aún se requiere de mucha investigación de soporte; el aceite del árbol del té (*Melaleuca alternifolia*), comercializado bajo la marca Timorex® Gold, es un fungicida de origen vegetal capaz de causar una ruptura de la pared celular de una amplia variedad de hongos fitopatógenos con una particular capacidad de penetrar al interior del tejido vegetal (mesófilo) generando un efecto de supresión de infecciones fúngicas en curso (Reuveni et al., 2020), los mecanismos de acción de este extracto son bastante robustos para reducir los riesgos de resistencia a fungicidas en poblaciones de hongos.

Por lo anterior, se desarrolló el presente estudio para evaluar el efecto de aspersiones en postcosecha de un producto a base de *Melaleuca alternifolia* para el control de la pudrición de corona (*Colletotrichum musae* y *Fusarium verticillioides*), con el objetivo de generar información que pueda ser de utilidad para implementar

estrategias de manejo postcosecha con menor carga química y menores riesgos de resistencia en poblaciones de hongos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en una empacadora de banano Enano Gigante en Tapachula, Chiapas, México; en donde se evaluaron tratamientos a base de Timorex® Gold (*Melaleuca alternifolia*) a 2.0, 3.0 y 5.0 mL/L, además de Bankit® Gold (Azoxistrobin + Fludioxonil) a 1.5 mL/L y un testigo absoluto bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Los frutos, se colectaron en una finca comercial y se les realizó un lavado con agua corriente para posteriormente realizar la aspersión de los tratamientos, empleando un aspersor manual con boquilla de cono hueco y utilizando un gasto de agua de 175 mL por cada 20 kg de fruta. Después de la aplicación, los frutos se almacenaron por 22 días a 15.5 °C simulando condiciones de empaque y transporte comercial y pasado este tiempo se sacaron del frío y se sometieron a condiciones de anaquel a ± 28 °C.

Se evaluó la severidad de pudrición de corona después de sacar los frutos a temperatura ambiente y a los 3, 5 y 10 días después, simulando condiciones de anaquel. La evaluación externa de la enfermedad se realizó con base a una escala (Cuadro 1) propuesta por Alvindia et al. (2004).

Cuadro 1. Escala para evaluación de la severidad de la pudrición de corona (Alvindia *et al.*, 2004).

Grado	Descripción
0	Sin decoloración o crecimiento de micelio en la corona
1	Decoloración o crecimiento del micelio limitado en la superficie de la corona cortada
2	Decoloración o crecimiento del micelio de menos del 10% del área de la corona
3	11–40% de decoloración o crecimiento de micelio en el área de la corona
4	41–70% decoloración o crecimiento de micelio en el área de la corona
5	71–100% decoloración o crecimiento de micelio en el área de la corona
6	Decoloración o crecimiento del micelio avanzado a los tallos de los dedos
7	Se produce la pudrición del tallo de los dedos, lo que hace que los dedos se caigan cuando se manipulan

Es importante mencionar que no se realizó inoculación de los patógenos, por lo cual los hongos detectados en postcosecha se identificaron mediante técnicas visuales y morfológicas, las cuales coincidieron con *Colletotrichum musae* y *Fusarium verticillioides*.

El índice de severidad se transformó a porcentaje de infección mediante la siguiente fórmula:

$$PI = 100 \left(\frac{n_0 + 1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5 + 6n_6 + 7n_7}{7N} \right) \text{-----1)}$$

Donde:

PI: Porcentaje de infección

0 a 7= Índice de severidad

n0 a n7= Número de plantas con el valor correspondiente 0 a 7

N= total de plantas evaluadas.

Posteriormente, al porcentaje de infección se le calculó la eficacia biológica mediante la fórmula de abbot:

$$EB = \left(\frac{PI_{ta} - PI_{tn}}{PI_{ta}} \right) (100) \text{-----2)}$$

Dónde:

EB= Eficacia biológica

PI_{ta}= Porcentaje de infección en el testigo absoluto

PI_{tn}= Porcentaje de infección en el tratamiento n.

Al conjunto de datos de cada una de las variables se les determinó la normalidad de errores mediante la prueba de Shapiro-Wilk, además, se comprobó la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Bartlett, en caso de que su cumpliera la normalidad de errores y homogeneidad de varianzas, se realizó un análisis de varianza utilizando el modelo de DBCA y una prueba de comparación de medias mediante el método de Tukey $\alpha = 0.05$, en el caso de que no se cumplieran los supuestos estadísticos se realizó un análisis no paramétrico mediante el test de Mann-Whitney-Wilcoxon (WMW), con el software estadístico SAS®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de 22 días en refrigeración, los frutos salieron con un proceso de infección de pudrición de corona avanzado, pues en las plantas sin tratamiento había en promedio 13.1 % de severidad, lo que fue estadísticamente mayor a las diferentes dosis evaluadas con el producto a base de *Melaleuca alternifolia* y con las frutas

tratadas con Azoxistrobin + Fludioxonil, cuya severidad ronda de 1.6 - 4.0 % (Figura 1).

Durante 10 días en condiciones de anaquel ($\pm 28\text{ }^{\circ}\text{C}$), el daño en las frutas sin tratamiento se incrementó en promedio 2.7 % todos los días, mientras que la aplicación del producto a base de *Melaleuca alternifolia* a 2.0, 3.0 y 5.0 mL, redujo a 1.58, 1.54 y 1.59 % el incremento de severidad por día, teniendo un comportamiento estadísticamente similar al ofrecido por el tratamiento químico a base de Azoxistrobin + Fludioxonil a 1.5 mL/L que fue de 1.7 % de severidad por día (Figura 1).

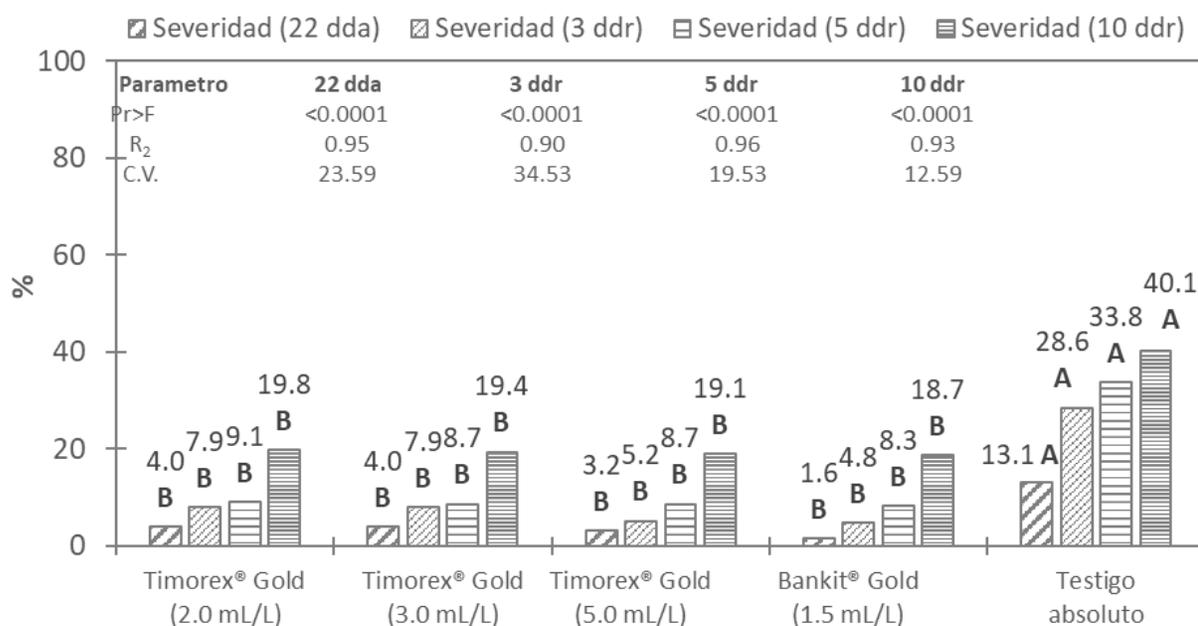


Figura 1. Comportamiento de la severidad de pudrición de corona en banana Enano Gigante en respuesta a aspersiones de *Melaleuca alternifolia*. dda: Días después de la aplicación. ddr: Días después de refrigeración. C.V.: Coeficiente de variación.

El uso de *Melaleuca alternifolia* a 2.0, 3.0 y 5.0 mL/L logro eficacias para el control de pudrición de corona que rondaron entre 50.6 y 81.9 %, las cuales fueron bastante similares a las ofrecidas por el tratamiento químico a base de Azoxistrobin + Fludioxonil que, durante todas las evaluaciones ronda de 53.5 a 83.3 % (Figura 2).

Estos resultados demuestran el gran potencial que tiene *Melaleuca alternifolia* para el manejo de pudrición de corona (*Colletotrichum musae* + *Fusarium verticillioides*) pues en dosis de 2.0 - 5.0 mL/L del formulado comercial Timorex®

Gold se pueden lograr eficacias similares a fungicidas químicos como el Bankit® Gold (Azoxistrobin + Fludioxonil) en dosis de 1.5 mL/L.



Figura 2. Eficacias obtenidas por *Melaleuca alternifolia* sobre el control de pudrición de corona en banano Enano Gigante. dda: Días después de la aplicación. ddr: Días después de refrigeración.

Mundialmente se han realizado muchos esfuerzos para validar tecnologías alternas al uso de fungicidas químicos para el manejo de pudrición de corona en banano, por ejemplo, Alvindia (2013) evaluó un tratamiento con *Bacillus amyloliquefaciens* cepa DGA14 y aunque las eficacias para disminuir el crecimiento micelial fueron de 66.68 % la inhibición de la germinación de esporas fue de 100 % empleando esta bacteria en tratamiento postcosecha.

Por otra parte, el uso de extractos vegetales ha sido más debatido pues Demerutis Peña (2010) reporto que para obtener un control aceptable de la enfermedad con extracto de semilla de cítricos fue necesario añadir un coadyuvante de base cerosa, mientras que Dorta et al. (2010) reporto 51.3 % de control del avance de esta enfermedad con la utilización de extractos de cítricos. Kong et al. (2019) reporto que el α -terpineol compuesto de *Melaleuca alternifolia* ocasiona una fuga citoplasmática de *Aspergillus ochraceus* en postcosecha de vid.

CONCLUSIONES

Con base a los objetivos planteados se concluye lo siguiente:

La aplicación del producto a base de *Melaleuca alternifolia* en dosis de 2.0, 3.0 y 5.0 mL/L logra eficacias de 72.3 – 81.9 % de la pudrición de banano causada por *C. musae* y *F. verticillioides* en condiciones comerciales de traslado y anaquel.

El producto a base de *M. alternifolia* en dosis de 2.0 - 5.0 mL/L demostró ofrecer efectividades de control de pudrición de corona similares a las generadas por un tratamiento químico a base de Bankit® Gold (Azoxistrobin + Fludioxonil) a dosis de 1.5 mL/L.

REFERENCIAS

1. Alvindia, D. G. 2013. Improving control of crown rot disease and quality of pesticide-free banana fruit by combining *Bacillus amyloliquefaciens* DGA14 and hot water treatment. *European journal of plant pathology*, 136(1): 183-191.
2. Alvindia, D. G., Kobayashi, T., Natsuaki, K. T., & Tanda, S. 2004. Inhibitory influence of inorganic salts on banana postharvest pathogens and preliminary application to control crown rot. *Journal of General Plant Pathology*, 70: 61-65.
3. Demetrius Peña, C. 2010. Requerimientos de calidad y seguridad en la exportación de frutas y verduras tropicales. *Revista Latinoamérica de tecnología Postcosecha*, Hermosillo: México 11 (1): 1-7.
4. Dorta, E.; Marrero, A.; Lobo, G.; Hernández, J. 2010. Evaluación de cuatro extractos de plantas, una sal inorgánica y un fungicida para el control de la podredumbre de corona del plátano. Trabajo fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Universidad de La Laguna.
5. Kong, Q., Zhang, L., An, P., Qi, J., Yu, X., Lu, J., & Ren, X. 2019. Antifungal mechanisms of α -terpineol and terpene-4-alcohol as the critical components of *Melaleuca alternifolia* oil in the inhibition of rot disease caused by *Aspergillus ochraceus* in postharvest grapes. *Journal of applied microbiology*, 126(4): 1161-1174.
6. Lassois, L., & de Bellaire, L. D. L. 2014. Crown rot disease of bananas. In *Postharvest decay* (pp. 103-130). Academic Press.
7. Scribano, F. R., & Garcete, V. 2016. Eficiencia de fungicidas de síntesis y orgánicos sobre la pudrición de corona del fruto de banano *Musa acuminata* Colla en la provincia de Formosa, Argentina. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(2): 201-206.

Evaluación de alternativas a base de feromonas como manejo alternativo del complejo de picudos de banano en Urabá, Colombia

Angela Benavides Martínez*; Diego Felipe Feria Gómez; Carlos Vicente A; Sebastián Zapata Henao

¹Centro de investigaciones del Banano, CENIBANANO, Carepa, Antioquia, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Angela Benavides Martínez
entomologia@augura.com.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Benavides MA, Feria GDF,
Vicente AC y Zapata HS.

2024. Evaluación de
alternativas a base de
feromonas como manejo
alternativo del complejo de
picudos de banano en

Urabá, Colombia. *Acorbat
Revista de Tecnología y
Ciencia* 1(1): 66

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2466



RESUMEN

En el presente estudio, se realizó la evaluación de diferentes trampas para la captura de adultos del complejo de picudos de banano. Se evaluaron cuatro tratamientos: trampa con feromona Cosmolure®, trampa con feromona Rhynchophorol C®, trampa con feromona Rhynchophorol C® + Pseudotallo y solo Pseudotallo. Se registra la eficiencia en la captura de individuos y se correlacionan las capturas con algunos datos como diámetro de la planta, pH y textura del suelo. Los resultados mostraron que Cosmolure® fue la trampa que obtuvo mayor captura para picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), Rhynchophorol C® + Pseudotallo para picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y solo pseudotallo para picudito (*Polytus mellerborgii*). Se encuentra correlación positiva entre capturas de Cosmolure® y el diámetro de la planta.

Palabras clave: *Musa* spp., semioquímicos, control etológico, Fitosanidad.

ABSTRACT

In the present study, the evaluation of different traps for the capture of weevil complex of banana was carried out. Four treatments were evaluated: trap with Cosmolure® pheromone, trap with Rhynchophorol C® pheromone, trap with Rhynchophorol C® pheromone + Pseudostem and only Pseudostem. The efficiency in capturing individuals was recorded and the captures was correlated with some data such as plant diameter, pH and soil texture. The results showed that Cosmolure® was the trap that obtained the highest capture for banana weevil borer (*Cosmopolites sordidus*), Rhynchophorol C® + Pseudostem for weevil (*Metamasius hemipterus*) and only pseudostem for weevil (*Polytus mellerborgii*). Positive correlation was found between Cosmolure® captures and plant diameter.

Keywords: *Musa* spp., pheromone, ethological control, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

El complejo de picudos de banano, está conformado por un grupo de insectos que pertenecen al orden Coleoptera; familia Curculionidae, como son Picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), Picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y Picudito (*Polytus mellerborgii*), considerados como plagas limitantes en la producción de musáceas y diversas especies vegetales de importancia económica a nivel mundial (Sepúlveda-Cano y Rubio-Gómez, 2009). El daño directo es ocasionado por las larvas, en el cormo y el pseudotallo, construyendo una serie de túneles o galerías, que debilitan la planta y afectan el tejido vascular, indispensable en el transporte de agua y nutrientes en la planta, lo cual está directamente relacionado a la disminución del peso del racimo y la baja calidad de la fruta (Carballo, 2001; Gold *et al.*, 2004; Vallejo-E. *et al.*, 2007). Dentro de los métodos de control más conocidos existe el uso de trampas de captura, especialmente trampas de pseudotallo, feromonas y el uso de algunos hongos entomopatógenos (Gold *et al.*, 2001). En la zona bananera de Urabá, Colombia, históricamente, no se tienen reportes de daño con alta severidad por este complejo de plagas, sin embargo, entre octubre de 2021 y enero de 2023, en algunas fincas de la zona, se empezaron a presentar incidencias altas de picudos. Con el fin de obtener un control efectivo de los picudos y complementar el manejo integrado de plagas en el cultivo de banano, el objetivo de este trabajo fue evaluar algunas alternativas de captura para el manejo y control del complejo de picudos del banano, además de explorar algunas características del suelo y la planta que puedan mediar sus poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo fue realizado en una finca con alta incidencia de la plaga ubicada en el municipio de Carepa, Antioquia, en la Región de Urabá, Colombia, donde se escogió un lote, que por monitoreos previos con trampas de pseudotallo, presentara los mayores recuentos de la plaga.

Fabricación de las trampas

Para la construcción de las trampas con feromona, se utilizaron 30 garrafas de 25 gal. completamente limpias. Posteriormente, se les abrieron ventanas con orientación descendente (hacia abajo) en los 4 lados del recipiente. Estas ventanas sirven como rampas de acceso para los adultos de los picudos. Luego del proceso anterior, se abrió un orificio en la parte superior de la garrafa donde se colgó la feromona, Cosmolure®(Sordidin) (1R,3R,5S,6S)-5-ethyl-1,3,6-trimethyl-4,8-dioxabicyclo [3.2.1] octane o Rhynchophorol C ® (2 Metil 5 Hepten 4 OL) con la ayuda de un trozo

de alambre. Finalmente, se adicionó agua y jabón en el fondo de la garrafa para evitar el escape de los picudos capturados, posteriormente, se enterró la garrafa en el suelo dejando introducido el recipiente por lo menos 5 cm, con la finalidad de que las rampas de acceso tengan un ángulo suficientemente plano para facilitar la entrada de los adultos. Adicional, a las trampas Rhynchophorol C® + Pseudotallo, se le colocó un trozo de pseudotallo encima de un pedazo de PVC para elevarlo del agua con jabón del fondo, el cual sirvió de cebo (Figura 1).



Figura 1. Tipos de trampas para cada uno de los tratamientos.

Montaje del experimento

Al área seleccionada, dos semanas antes del montaje del experimento, se le dejó de realizar el manejo tradicional para la plaga, el cual consistía en instalación de trampas de pseudotallo y aplicaciones del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*. En esta área de aproximadamente de 1 ha, se instalaron cuatro tratamientos de manera intercalada: trampas con feromona Cosmolure®, trampas con feromona Rhynchophorol C® de Cenipalma, trampas con feromona Rhynchophorol C® de Cenipalma + Pseudotallo como cebo y trampas artesanales tipo sándwich de pseudotallo (manejo convencional de la finca); todas debidamente identificadas. Las trampas se colocaron en una malla de puntos aproximadamente cada 40 m, instalando un total de 10 trampas por tratamiento. Las trampas de pseudotallo fueron reemplazadas cada 15 días por una nueva, al igual que los cebos. Para las trampas de Cosmolure® se les reemplazó el sachet de la feromona por uno nuevo al cumplir el mes. Las trampas con feromona Rhynchophorol C® de Cenipalma, no se reemplazaron, ya que tienen una vida útil de tres meses.

Toma de datos

Las evaluaciones de las trampas se realizaron con una frecuencia de 2 veces por semana durante 2 meses consecutivos (mayo y junio de 2023). Los individuos capturados en las trampas se contabilizaron y registraron, separando las especies encontradas si fuesen picudo negro (*Cosmopolites sordidus*), picudo rayado (*Metamasius hemipterus*) y picudo enano o picudito (*Polytus mellerborgii*). Además, se obtuvieron datos de pH, textura del suelo, distancia al canal más cercano y perímetro a un metro de altura de las plantas, con el fin de correlacionar el número de individuos capturados con dichos factores. El diseño experimental de este trabajo fue un diseño completamente al azar (DCA), donde las unidades experimentales fueron cada una de las trampas, para un total de 40 unidades experimentales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados mostraron una disminución temporal de los individuos capturados, debido al efecto del trampeo en el control poblacional de los individuos (Figura 2A). Además, se encontró que la trampa de mayor captura de Picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) fue la trampa Cosmolure® con una proporción del 82% del total de individuos capturados, similar como lo evidencian Tinzaara *et al.* (1999) y Alpizar *et al.* (1998), donde la trampa de feromona Cosmolure® capturó mayor cantidad de individuos de picudo comparada con la trampa de pseudotallo. La trampa Rhynchophorol C® de Cenipalma + pseudotallo con un 10% de individuos y la trampa Rhynchophorol C® y Pseudotallo con un 5% y 4% respectivamente. La trampa que capturo el mayor número de picudos rayados (*Metamasius hemipterus*) fue la trampa Rhynchophorol C® de Cenipalma + pseudotallo, seguido de la trampa Rhynchophorol C® de Cenipalma. La trampa en la cual se capturó mayor número de picudito (*Polytus mellerborgii*) fue la trampa de solo pseudotallo. De acuerdo al análisis estadístico realizado, Kruskal Wallis test ($P < 0.05$), existen diferencias significativas entre los diferentes métodos de captura o tratamientos (Figura 2B).

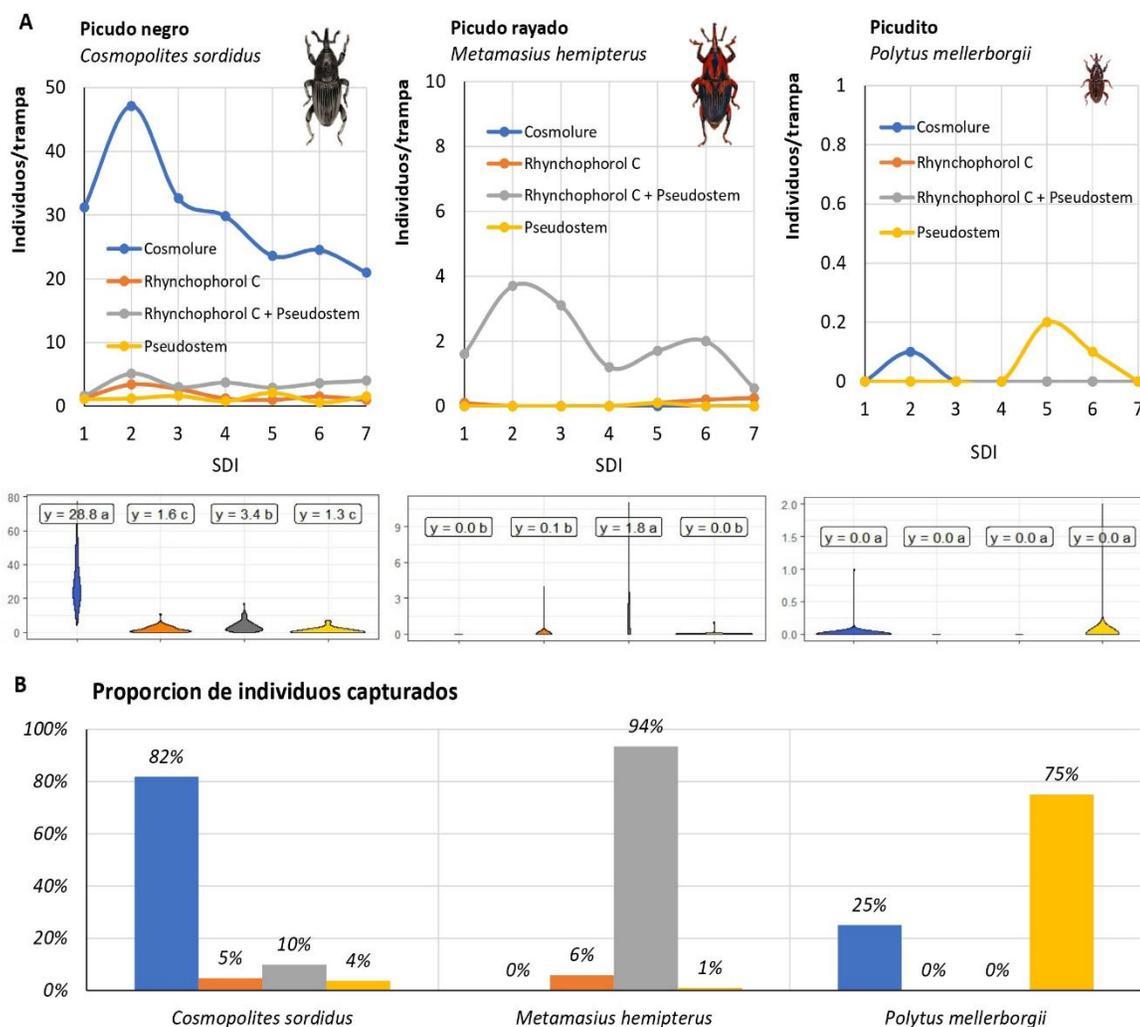


Figura 2. Individuos capturados por trampa semanalmente y proporción capturada por tratamiento, letras diferentes representan diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) por criterio de la diferencia menos significativa de Fisher's (Kruskal Wallis test).

Cuando se correlacionó la población de individuos capturados en cada tratamiento con las condiciones del entorno de la trampa, se obtuvo una correlación positiva en el tratamiento con Cosmolure® y el volumen del pseudotallo (L), que es una variable relacionada con el vigor y tamaño de la planta. En un trabajo realizado en plátano por Muñoz (2007) en Costa Rica, muestran en sus resultados, que, de igual manera, con una trampa de feromona, capturan mayor cantidad de picudos en plantas que tiene mayor diámetro de pseudotallo (cm). Además, en otro trabajo realizado por

Gold et al. (2006), se encontró que plantas más grandes se veían favorecidas por mayores poblaciones de *Cosmopolites sordidus*, sin embargo, se relacionaban con la presencia de mulch en el suelo, como un beneficio nutricional en pro del tamaño y crecimiento de las plantas, pero también se comenta que podría estar relacionado con la humedad retenida por este, ya que este picudo es dependiente de este factor para su sobrevivencia.

Por otro lado, esta correlación podría también atribuirse a que en lugares donde se tienen plantas con mayor tamaño y vigor, se obtienen de igual forma mayor cantidad de residuos de cosecha como hojas y pseudotallos, los cuales funcionan como atrayente según Braimah y Van Emden (1999) y Timzaara *et al.* (2007), debido a la liberación de semioquímicos, los cuales estimulan a los picudos y podría relacionarse con la mayor cantidad de individuos capturados en estas plantas.

Respecto a las características del suelo, se encontró una correlación negativa, que indica el aumento de individuos hacia zonas menos arenosas o con alta presencia de limos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Correlación (R^2) de la cantidad de individuos por trampa y los parámetros del suelo y la planta, correlación Pearson; Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

Métodos	Individuos capturados	Distancia al canal(m)	Volumen pseudotallo (L)	pH	Arena (%)	Limo(%)	Arcilla(%)
Cosmolure	2,308	-0.124	0.557.	0.210	-0.591.	0.580.	0.491
RhynchophoroIC	139	-0.209	0.235	0.040	-0.498	0.424	0.560
RhynchophoroIC + Pseudostem	423	0.203	-0.294	-0.106	0.295	-0.416	0.006
Pseudotallo	108	-0.139	0.030	-0.341	-0.220	0.212	0.203

CONCLUSIONES

El manejo integrado de picudos en banano se puede ver favorecido mediante el uso de trampas de feromonas, la trampa Cosmolure® es la mejor opción debido a la alta captura específica del picudo (*Cosmopolites sordidus*), el cual es el causante del mayor daño encontrado en las plantaciones de banano en la zona de Urabá, Colombia.

Por otro lado, las poblaciones de este picudo, también se pueden ver favorecidas por las condiciones de desarrollo de cada plantación.

REFERENCIAS

1. Alpizar, D., Fallas, D., Oehlschlager, O. C., Gonzalez, L. M. and Jayaraman, S. (1998). Pheromone-based mass trapping of the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Germar) and the West Indian sugarcane weevil *Metamasius hemipterus* L. (Coleoptera: Curculionidae) in banana and plantain. Memorias XIII. Reunion ACORBAT, Guayaquil, Ecuador, 515–538.
2. Braimah, H. and Van Emden, H.F. (1999). Evidence for the presence of chemicals attractive to the banana weevil, *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) in dead banana leaves. Bulletin of Entomological Research, 89, 485–491.
3. Carballo, M. (2001). Opciones para el manejo de picudo negro del plátano. Hoja técnica Manejo integrado de plagas (Costa rica) N°59.
4. Gold, C., Kagezi, G., Night, G. y Ragama, P. (2004). The effects of banana weevil, *Cosmopolites sordidus*, damage on highland banana growth, yield and stand duration in Uganda. Annals of Applied Biology, 145, 263-269.
5. Gold, C.S., Okecha, S.H., McIntyre, B.D., Kagezia, G., Ragama, P.E., Night, G. (2006). Effects of mulch on banana weevil *Cosmopolites sordidus* (Germar) populations and damage in Uganda. Crop Protection, 25 (2006) 1153–1160.
6. Muñoz, R.C. (2007). Fluctuación poblacional del picudo negro (*Cosmopolites sordidus* Germar) del plátano (*Musa AAB*) en San Carlos, Costa Rica. Tecnología en Marcha. Vol. 19-1 - 2007.
7. Sepúlveda-Cano, P. y Rubio-Gómez, J. (2009). Especies de Dryophthorinae (Coleoptera: Curculionidae) asociadas a plátano y banano (*Musa* spp.) en Colombia. Acta biológica colombiana. 2 (14), 49-72.
8. Tinzaara, W., Tushemereirwe, W. and Kashaija, I. (1999). The potential of using pheromone traps for the control of the banana weevil *Cosmopolites sordidus* Germar in Uganda. p.327-332. In: Frison, E.A., Gold, C.S., Karamura, E.B. and Sikora, R.A. (eds.). Proceedings of Workshop on banana IPM, Nelspruit (ZAF), 1998/11/23-28. Mobilizing IPM for sustainable banana production in Africa: Proceedings of a workshop on banana IPM. INIBAP, Montpellier (FRA).
9. Tinzaara, W., Gold, C.S., Dicke, M., Van huis, A., and Ragama, P. (2007). Host plant odours enhance the responses of adult banana weevil to the synthetic aggregation pheromone Cosmolure+®. International Journal of Pest Management, April–June; 53(2): 127 – 137.
10. Vallejo, L.F., Sánchez, R. & Salgado, M. (2007). Redescrición del adulto y descripción de los estados inmaduros de *Cosmopolites sordidus* germar, 1824 (coleoptera: curculionidae), el picudo negro barrenador del plátano en Colombia. Apartes del proyecto “Unidad de Morfología de Insectos para la Caracterización de Plagas de la Zona Cafetera Central de Colombia”, financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas. Boletín Científico - Centro de Museos - Museo de Historia Natural Vol. 11, enero - diciembre, 2007, pág. 361 – 375.

Evaluación de alternativas químicas y orgánicas al herbicida glifosato para el control de maleza en el cultivo de banano

Mario Orozco-Santos^{1*}; Karina de la Paz García-Mariscal¹

¹Campo Experimental Tecomán. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México.

*Autor de

Correspondencia:

Mario Orozco-Santos
orozco.mario@inifap.gob.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Orozco-Santos M y García-Mariscal KdelaP. 2024.

Evaluación de alternativas químicas y orgánicas al herbicida glifosato para el control de maleza en el cultivo de banano. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 67
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2467>

RESUMEN

Se evaluaron herbicidas químicos y orgánicos como alternativas al glifosato en banano. La aplicación de glufosinato de amonio (GDA), paraquat o glifosato tuvieron 87-95% de control de maleza a los 28 días de la aplicación. En cambio, la mezcla de postemergentes (paraquat o GDA) con indaziflam (preemergente) registraron 94-97% de eficacia a los 70 días. En otro ensayo, una aplicación de indaziflam más GDA tuvo un efecto residual de 167 días con 83% de control. Contrariamente, cinco aplicaciones de GDA o glifosato tuvieron un control similar. La aplicación de indaziflam, redujo en 80% la mano de obra y en 8% el costo de productos químicos. También, los bioherbicidas a base de compuestos orgánicos y biológicos aplicados a los 10 días de edad de la maleza, resultaron promisorios para el control de malas hierbas en el cultivo de plátano, registrando una efectividad biológica superior al 90% y pueden representar una alternativa agroecológica al uso de glifosato.

Palabras clave: *Musa* spp., malas hierbas, control químico, Fitosanidad.

ABSTRACT

Pre- and post-emergence herbicides were evaluated as alternatives to glyphosate in banana crop. Application of glufosinate-ammonium (GDA), paraquat or glyphosate had 87-95% weed control 28 days after application. In contrast, the mixture of postemergents (paraquat or GDA) with indaziflam (preemergent) registered 94-97% efficacy at 70 days. In another trial, one application of indaziflam plus GDA had a residual effect of 167 days with 83% control. In contrast, five applications of GDA or glyphosate had similar control. The application of indaziflam reduced labor by 80% and the cost of chemical products by 8%. Also, the bioherbicides based on organic and biological compounds applied at 10 days of age of the weed, were promising for the control of weeds, registering a biological effectiveness of more than 90% and may represent an agroecological alternative to the use of glyphosate.

Keywords: *Musa* spp., weeds, chemical control, bioherbicides, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

Para el año 2022, en México se cultivaron 85,642 hectáreas de musáceas en las regiones tropicales de la costa del Golfo de México y Océano Pacífico (SIAP, 2023). Los principales estados productores son Chiapas, Veracruz, Tabasco, Colima, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Puebla y Nayarit. El banano (*Musa* spp) se cultiva bajo condiciones de temporal o riego en áreas del trópico húmedo, subhúmedo y trópico seco. La maleza representa un serio problema por las condiciones favorables de humedad durante todo el año, lo cual favorece su germinación, crecimiento y fructificación de diferentes especies. Su control está basado en métodos químicos, manuales y mecánicos (Rodríguez *et al.*, 2021). En este frutal, el herbicida más utilizado desde hace varias décadas ha sido el glifosato (Ramírez y Rodríguez, 1996; Quintero Pertuz *et al.*, 2021).

Sin embargo, existen otras alternativas químicas como el glufosinato de amonio y el paraquat, los cuales han demostrado una buena eficacia en el control de la maleza en el cultivo de banano (Rodríguez *et al.*, 2021). También, el herbicida preemergente indaziflam ha resultado promisorio en este frutal (Silva *et al.*, 2017). Existen algunos reportes exitosos del uso de bioherbicidas para el control de maleza, los cuales contienen extractos de plantas (aleloquímicos o aceites esenciales), fitotoxinas microbiales, micoherbicidas, bacterias, virus, entre otros (Roberts *et al.*, 2022). El 31 de diciembre de 2020, se publicó en el Diario Oficial de la Federación un decreto, mediante el cual se establecen acciones del gobierno federal mexicano para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato, por el uso de alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente. Esta disposición, hace necesario buscar alternativas químicas y orgánicas de manejo de maleza que permita reemplazar el uso del glifosato en el cultivo de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un huerto de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) variedad 'Enano Gigante' de 10 años de edad con un sistema de producción de riego presurizado en el municipio de Tecomán, Col. Este trabajo constó de dos experimentos:

Evaluación de herbicidas alternativos al glifosato 1. Se evaluaron 10 tratamientos de herbicidas químicos solos o en mezcla y un testigo sin aplicación: **1)** glufosinato de

amonio (420 g), **2)** paraquat (400 g), **3)** paraquat + diuron (600 + 300 g), **4)** sulfentrazone + paraquat (720 + 400 g), **5)** indaziflam + glufosinato de amonio (100 + 420 g), **6)** indaziflam + paraquat (100 + 400), **7)** oxifluorfen + paraquat (144 + 400 g), **8)** piraflufen etil + paraquat (5.15 + 400 g), **9)** flumioxazin + paraquat (180 + 400 g), **10)** glifosato (726 g) y **11)** testigo sin aplicación. Todas las dosis fueron de ingrediente activo/ha. Se realizó una sola aplicación el 11 de agosto del 2021.

Evaluación de herbicidas alternativos al glifosato 2. Se evaluó un programa de control basado en el herbicida postemergente (glufosinato de amonio: 420 g de i.a./ha) aplicado solo o en mezcla con un preemergente (Indaziflam: 100 g de i.a./ha) en comparación con el uso de glifosato (726 g de i.a./ha) para el control de maleza. También se incluyó un tratamiento testigo sin control. De septiembre del 2021 a junio del 2022, se realizaron cinco aplicaciones de los tratamientos con los herbicidas postemergentes (glufosinato de amonio y glifosato), mientras que con la mezcla del glufosinato de amonio + indaziflam fue solo una aplicación.

Evaluación de bioherbicidas. Se evaluaron tres bioherbicidas comerciales: BH1 (aceite de conífera 40%, extracto de *Datura stramonium* 10%, extracto de plantas alelopáticas 42%, metabolitos de *Puccinia* ssp 2% y aceite de coco no hidrogenado 6%), BH2 (gordolobo 20%, aceite de coco 20%, resina de pino 20%, hongo *Puccinia* 20% y papaína 20%), HB3 (ácidos orgánicos enzimáticos 10%, extracto de plantas alelopáticas 38%, toxinas de *Puccinia* spp 15% y resina de pino no iónica 20%, diluyente 17%). De cada herbicida se evaluaron concentraciones de 0.5, 0.75 y 1%. También se incluyó un tratamiento a base de glifosato (3.6 g de i.a./L) y un testigo sin control de maleza.

En los tres experimentos, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. La parcela experimental fue de 10 x 6 m. La aplicación de los herbicidas se realizó con una bomba de mochila manual con boquilla de cerámica tipo abanico 110-03. A todos los tratamientos se agregó un surfactante no iónico en dosis de 1.0 ml/L de agua. Al establecimiento del trabajo, se realizó un muestreo para determinar las especies de maleza predominantes. Para la evaluación de control de maleza, se utilizó la escala porcentual 0 a 100%, en donde 0 significa que no hubo ningún efecto en el control de la maleza y 100 que fueron completamente eliminadas (Carmona *et al.*, 2001). Los datos se sometieron a un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las especies de maleza predominantes en orden de importancia fueron: *Rottboellia cochichinensis*, *Chloris virgata*, *Parthenium hysterophorus*, *Ipomoea* sp, *Echinochloa* sp, *Panicum máximum*, *Euphorbia heterophylla*, *Cenchrus echinatus* y *Euphorbia hirta*.

Evaluación de herbicidas alternativos al glifosato 1. A los 14 y 28 días de la aplicación, todos los tratamientos de herbicidas evaluados registraron un control adecuado de maleza, mostrando de un 87 a 100% de eficacia (Cuadro 1). El control observado hasta los 28 días se atribuye al efecto postemergente del glufosinato de amonio, paraquat y glifosato. A partir de los 42 días, los herbicidas postemergentes fueron reduciendo su grado de control, hasta llegar a los 70 días de la aplicación con un 38, 51 y 50% de control con los herbicidas glufosinato de amonio, paraquat y glifosato, respectivamente. En cambio, algunos herbicidas preemergentes tuvieron un efecto residual significativo.

Cuadro 1. Grado de control de maleza con herbicidas postemergentes aplicados solos y en combinación con preemergentes en el cultivo de banano.

Tratamientos ^z	Control de maleza a días después de la aplicación (%) ^y							
	14	28	42	56	70	86	110	154
Glufosinato de amonio	91 a	87 a	78 b	64 c	38 d	18 cd	3 c	0 b
Paraquat	88 a	89 a	58 b	78 bc	51 cd	19 cd	5 c	0 b
Paraquat + Diuron	98 a	95 a	81 ab	70 bc	59 bc	28 bc	13 bc	2 b
Sulfentrazone + Paraquat	96 a	93 a	88 a	82 ab	60 bc	46 b	18 bc	5 b
Indaziflam + Glufosinato de A.	100 a	100 a	99 a	98 a	97 a	77 a	71 a	59 a
Indaziflam + Paraquat	98 a	99 a	99 a	98 a	94 a	80 a	76 a	50 a
Oxifluorfen + Paraquat	99 a	98 a	72 b	89 ab	71 b	29 bc	10 c	1 b
Piraflufen etil + Paraquat	90 a	91 a	83 ab	68 c	50 cd	26 bc	13 c	1 b
Flumioxazin + Paraquat	98 a	99 a	96 a	89 ab	63 bc	40 b	26 b	4 b
Glifosato	98 a	95 a	74 b	65 c	50 cd	21 c	35 c	0 b
Testigo	0 b	0 b	0 c	0 d	0 e	0 d	0 c	0 b

^y = Separación de medias según la prueba de Tukey al 95% de probabilidad.

^z = Se realizó una sola aplicación el 11 de agosto del 2021. DDA= Días después de la aplicación.

El tratamiento de Indaziflam en mezcla con glufosinato de amonio o paraquat registraron una eficacia de 97 y 94% de control a los 70 días de la aplicación. El resto de los herbicidas (diuron, sulfentrazone, oxifluorfen, piraflufen etil y flumioxazin) resultaron con menor residuabilidad que el indaziflam. A los 154 días, el tratamiento de indaziflam continuó mostrando una eficacia de 50-58%. El herbicida sulfentrazone ocasionó toxicidad a las plantas de banano.

Evaluación de herbicidas alternativos al glifosato 2. A los 14 y 28 DDA, todos los tratamientos con herbicidas tuvieron un control adecuado de maleza (89 a 100%), lo cual se atribuye al efecto postemergente del glufosinato de amonio y glifosato. Sin embargo, a los 48 DDA se redujo la eficacia a un 75 y 59%, respectivamente. En cambio, el tratamiento con el herbicida preemergente indaziflam mostró un 98% de control y continuó su efecto residual hasta los 167 DDA con un 83% de eficacia, producto de una sola aplicación. En cambio, los tratamientos de glufosinato de amonio y glifosato fueron necesarias cinco aplicaciones para mantener un control de maleza satisfactorio. Las parcelas testigo registraron un control nulo de maleza durante todo el período de estudio.

Cuadro 2. Efecto de herbicidas postemergentes y preemergentes en el control de maleza en banano.

Tratamientos ^z	Control de maleza a días después de la aplicación (%) ^y						
	14	28	48	70	114	167	222
1. Glufosinato de amonio (GDA)	99 a	94 a	75 b	30 b	28 b	69 a	58 a
2. GDA + indaziflam	100 a	98 a	98 a	93 a	80 a	83 a	53 a
3. Glifosato	95 a	89 a	59 b	18 b	25 b	63 a	50 a
4. Testigo	0 c	0 a	0 c	0 c	0 c	0 b	0 b

^y Separación de medias según la prueba de Tukey al 95% de probabilidad.

^z Se realizaron cinco aplicaciones de herbicidas en los tratamientos 1 y 3. El tratamiento 2 requirió una sola aplicación.

Evaluación de bioherbicidas. A los 14 días de la aplicación, todos los tratamientos evaluados registraron diferentes niveles de control de maleza en comparación al testigo sin aplicación (Cuadro 3). El grado de eficacia fue desde un 74% con la dosis baja del BH1 (0.5%) hasta 91-93% con los BH1 (1%), BH2 (0.75 y 1%), BH3 (1%) y un 96% con el glifosato (1%). A los 28 días de la aplicación, todos los bioherbicidas en dosis de 1% mostraron un control superior al 90%, siendo similar estadísticamente al registrado con el glifosato (95% de eficacia). A los 28 días, el BH2 a razón de 0.75% registró un control similar (92%) a BH1, BH2 y BH3 en dosis de 1%. Después de los 42 días, todos los tratamientos de bioherbicidas tuvieron eficacias que fluctuaron entre

44 a 62%, mientras que el glifosato mostró un mejor control con un 73% de eficacia. A los 56 días de la aplicación, la infestación de maleza fue elevada en todos los tratamientos de bioherbicidas (25 a 40% de eficacia). Solo las parcelas tratadas con BH1 y BH2 a razón de 1%, registraron un control similar al glifosato (51 a 58%).

Cuadro 3. Grado de control de maleza con tres bioherbicidas en el cultivo de plátano.

Tratamientos ^z Concentración del herbicida (%)	Control de maleza (%) ^y			
	14 DDA	28 DDA	42 DDA	56 DDA
BH1 (0.5)	74 c	80 b	40 b	25 c
BH1 (0.75)	89 ab	83 b	49 b	28 c
BH1 (1)	93 a	95 a	62 a	53 a
BH2 (0.5)	88 b	83 b	47 b	34 bc
BH2 (0.75)	93 a	92 a	61 a	40 b
BH2 (1)	93 a	94 a	63 a	51 a
BH3 (0.5)	86 b	82 b	45 b	30 bc
BH3 (0.75)	86 b	88 ab	44 b	35 bc
BH3 (1)	91 ab	90 a	46 b	36 bc
Faena (glifosato) (1)	96 a	95 a	73 a	58 a
Testigo	0 d	0 c	0 c	0 d

^z Se realizó una sola aplicación el 8 de septiembre del 2021. DDA= Días después de la aplicación.

^y Separación de medias entre columnas según la prueba de Tukey al 95% de probabilidad.

CONCLUSIONES

Estos resultados demuestran que con una aplicación de glufosinato de amonio + indaziflam es suficiente para tener un control eficiente de maleza durante cinco meses y medio, reduciendo en un 80% la mano de obra y en un 8% el costo de los productos químicos (herbicida + surfactante) con relación al sistema tradicional que requiere de cinco aplicaciones de glifosato.

Los bioherbicidas (BH1, BH2 y BH3 en dosis del 1% de producto formulado) a base de compuestos orgánicos y biológicos aplicados a los 10 días de edad de la maleza, resultaron promisorios para el control de malas hierbas en el cultivo de plátano, registrando una efectividad biológica superior al 90% y pueden representar una alternativa agroecológica al uso de glifosato.

REFERENCIAS

1. Carmona R, Sayão CANB, Carvalho PR. 2001. Controle de *Acacia farnesiana* e de *Mimosa pteridofita* em pastagem. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 36:1301-1307.
2. Quintero-Pertuz I, Hoyos, V, Carbonó-Delahoz E, Plaza G. 2021. Susceptibility of weed populations to glyphosate in banana plantations of the Department of Magdalena, Colombia. *Chilean Journal of Agricultural Research* 81:172-181.
3. Ramírez, SG, Rodríguez, CJC. 1996. Manual de producción de plátano para Tabasco y Norte de Chiapas. Folleto técnico No. 13. SARH, INIFAP, CIRGOC, Campo Experimental Huimanguillo. 82 p.
4. Roberts, J. Florentine, S, Fernando, WGD, Tennakoon, KU. 2022. Achievements, developments and future challenges in the field of bioherbicides for weed control: A global review. *Plants*, 11, 2242. <https://doi.org/10.3390/>
5. Rodriguez, DSL, Borém A, Vilela, RMG. (Editores técnicos). 2021. *Banana: do plantio à colheita*. Livro. EPAMIG. Belo Horizonte, Brasil. 376 p.
6. SIAP 2021. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consulta el 15 de agosto del 2022.
7. Silva, VFV, Biffe DF, Catapan V, Silva VP, Baladeli RB, Cuba, ALF. 2017. Uso potencial do novo herbicida indaziflam em pomares de banana. *Revista Brasileira de Herbicidas* 16:325-332.

Biocontrol potential of endophytic strains of *Trichoderma asperellum* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, subtropical race 4

Thayne Munhoz¹; Elen Agostini¹; Jeanne S. Marinho-Prado¹; Poliana Giachetto²; Miguel Dita^{*3}

¹Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, Brazil; ²Embrapa Agricultura Digital, Campinas Brazil ³Bioversity International, Cali Colombia.

***Autor de Correspondencia:**
Miguel Dita*
m.dita@earth.ac.cr

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023
Aceptado:
15 Enero, 2024
Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Munhoz T, Agostini E, Marinho-Prado JS, Giachetto P and Dita M. 2024. Biocontrol potential of endophytic strains of *Trichoderma asperellum* against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, subtropical race 4. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 68
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2468>

RESUMEN

En este trabajo, se aislaron 10 cepas de *Trichoderma asperellum* endofíticas de diferentes genotipos de *Musa* spp. y se evaluó su potencial de biocontrol contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc, raza 4 Subtropical), el agente causal de la marchitez por Fusarium del banano (MFB). Todas las cepas de *T. asperellum* mostraron potencial de biocontrol contra Foc. Las cepas YG01F, M001F y MC01F aisladas de Yamgambi No.2, *Musa acuminata* y *Musa acuminata* subsp. *malaccensis*, respectivamente, mostraron los mayores porcentajes de inhibición. Nuestros resultados sugieren una gran diversidad de *T. asperellum* endofíticos procedentes de raíces de *Musa* spp., con gran potencial para el desarrollo de nuevos productos destinados a reducir el impacto de la MFB y mejorar la productividad en el banano.

Palabras clave: Banano, Marchitez por *Fusarium*, *Trichoderma*, biocontrol, Fitosanidad.

ABSTRACT

In this work 10 endophytic *Trichoderma asperellum* strains were isolated from different banana genotypes and evaluated for its biocontrol potential against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc, subtropical race 4 -SR4) the causal agent of Fusarium wilt of banana (FWB). All the *T. asperellum* strains showed biocontrol potential against Foc. the strains YG01F, M001F, and MC01F from Yamgambi No.2, *Musa acuminata*, and *Musa acuminata* subsp. *malaccensis*, respectively, exhibited the highest percentages of inhibition. Our results suggest a high and multifunctional diversity of culturable endophytic *T. asperellum* from *Musa* spp. roots, with a strong potential for new product developments to reduce FWB impact and enhance productivity in banana.

Keywords: Banana, *Fusarium* wilt of banana, *Trichoderma*, biocontrol, phytosanity.



INTRODUCTION

Plants are populated with different sets of microorganisms with potential roles on host and ecosystem functions. Endophytic microorganisms colonize root tissues inter- and/or intracellularly producing a wide range of compounds useful for plants growth as well as for protection against biotic and abiotic stresses (Kavino and Manoranjitham, 2018).

Clonally propagated crops such as banana are frequently multiplied by using tissue culture techniques to get uniform and pathogen-free plants. This process, however, also eliminates the endophyte beneficial microbiota and might have plant fitness altered. *Trichoderma* spp. a multipurpose microorganism, utilizes direct antagonism and competition in the rhizosphere, colonizes plant roots (externally and/or as an endophyte), and has the capacity to promote plant growth and prime local and systemic defense responses against biotic stresses (Woo et al., 2022).

Fusarium wilt (FWB), caused by the soil-borne pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) is currently considered the major threat of the global banana production (Dita et al., 2018). The best practice to manage FWB is the use of resistant varieties. However, fully resistant cultivars to replace Cavendish or other susceptible commercial varieties are not yet available. Therefore, other management strategies such as the use of biological control agents (BCAs) are needed.

Trichoderma spp. is by far the most studied fungi for controlling FWB (Bubici et al., 2019). However, one of the drawbacks frequently raised about BCAs is the fitness of strains in field conditions and whether they can positively interact with host plants. A straightforward solution would be using BCA strains isolated from the target crop and environmental conditions. In this work, we screened different banana genotypes, isolated, identified and evaluated de biocontrol potential against Foc of 10 endophytic strains of *T. asperellum*.

MATERIALS AND METHODS

Isolation of endophytic *Trichoderma* spp. Samples from roots of 10 *Musa* spp. genotypes were processed using the protocol described by Pocasangre and Sikora (2000). Primary roots were split into two longitudinal sections and placed in a 2% sodium hypochlorite solution for three minutes, then washed with sterile tap water three times (3 min each) and split once into two longitudinal sections. Root sections were

placed on autoclaved paper towels to remove excess water and the outer layer of the root was peeled off with a scalpel. Internal roots tissues were cut into small pieces of approximately 1 to 1.5 cm length and placed on Petri's dishes with Potato Dextrose Agar of 10% strength supplemented with 0.3 g streptomycin. The plates were incubated at 27 °C in the dark and after eight days colonies visually resembling *Trichoderma* spp. were sub-cultured to new plates for purification.

Identification of *Trichoderma* spp. DNA from colonies morphologically identified as *Trichoderma* spp. was extracted (Qiagen) and analyzed by sequencing the elongation factor (Tefa-1 α) gene (O'Donnell et al., 1998) and the Internal Transcribed Spacer (ITS) region (White et al., 1990). PCR products were confirmed by electrophoresis on agarose gel of 0.8%. Sequencing was performed at MACROGEN using purified PCR products at a concentration of 50 ng μL^{-1} . Sequencing products were compared to DNA databanks (NCBI) using the Blast (n) tool.

Antagonisms assays. Antagonisms assays were carried using a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* subtropical race 4 strain (VR039) isolated from Cavendish (AAA) banana located in the Ribeira Valle and previously characterized as VCG120. Screening for antagonistic activity against Foc was carried out using dual culture method described by Xianmei Yu et al. (2011). Sterile 90 mm Petri's dishes containing PDA were inoculated with each *T. asperellum* and cultivated next to the Foc strain. The mycelia plug (5 mm in diameter) taken from ten days old actively growing colonies of Foc was placed three days before the *Trichoderma* strains. Plates with pure cultures of either Foc or *Trichoderma* strains were used as controls. All plates were incubated under controlled conditions at 27 °C. Evaluations started at seven days after the assay setup, at which point the *Trichoerma* spp. control treatments covered the entire plate. The evaluation involved measuring the colony diameter and the antibiotic halo. At 21 days after the assay setup the occurrence or absence of mycoparasitism was evaluated using a scale of 0-3, where 3 represents the highest level of mycoparasitism (0 - no parasitism; 1: 1% -25%; 2: 26%-50%; 3: >50%). The percentage of inhibition of radial growth (PIRG) was measured by the formula: $\text{PIRG} = (A-B/A) \times 100$, where A corresponds to the radial growth of the control pathogen plates and B the radial growth of the pathogen in coculture. The experimental design was completely randomized with three repetitions by treatments and control. The data underwent analysis of variance, and the means were compared (Tukey ≤ 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Trichoderma species were successfully isolated from all studied *Musa* spp. genotypes. In addition to *T. asperellum*, other species like *T. konigiopsis* and *T. spirale* were also identified (Data not shown). However, *T. asperellum* was the predominant species. For this study, one *T. asperellum* strain was selected per *Musa* genotype (Table 1). Further analysis are currently undergoing for the remaining isolates of *Trichoderma* spp.

Even when inoculated on plates three days after Foc, all *T. asperellum* isolates demonstrated the ability to inhibit the Foc (VR039). Although there was no statistical difference, variation was observed (Table 1, Figure 1). Notably, the strains YG01F, M001F, and MC01F from Yamgambi No.2, *Musa acuminata*, and *Musa acuminata* subsp. *malaccensis*, respectively, exhibited the highest percentages of inhibition (Table 1).

All isolates demonstrated the capability to mycoparasitize Foc, but variations were observed. Two isolates exhibited grade 1 mycoparasitism (up to 25% pathogen colonization), three isolates presented grade 2 mycoparasitism (26% to 50% pathogen colonization), while the remaining five isolates demonstrated grade 3 mycoparasitism (more than 50% pathogen colonization).

Table 1. List of *Trichoderma asperellum* strains and their behavior against *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense*.

Code	Genotype	Genome	Growth inhibition of Foc (%)	Mycoparasitism (Scale 0-3)
B001F	<i>Musa balbisiana</i>	BB	30	1
M001F	<i>Musa acuminata</i>	AA	38	2
MC01F	<i>Musa malaccensis</i>	AA	37	3
OR002F	<i>Musa ornata royal</i>	*	33	3
PB002F	Pisang Bungai	AA	35	2
PCV01F	Pacovan	AAB	36	2
PJB01F	Pisang Jaru Buaya	AA	36	3
PS029F	Pisang Seribu	AAB	30	1
SB01F	Saba	ABB	35	3
YG01F	Yamgambi Km2	AAB	43	3

*Wild specie with unknown genome

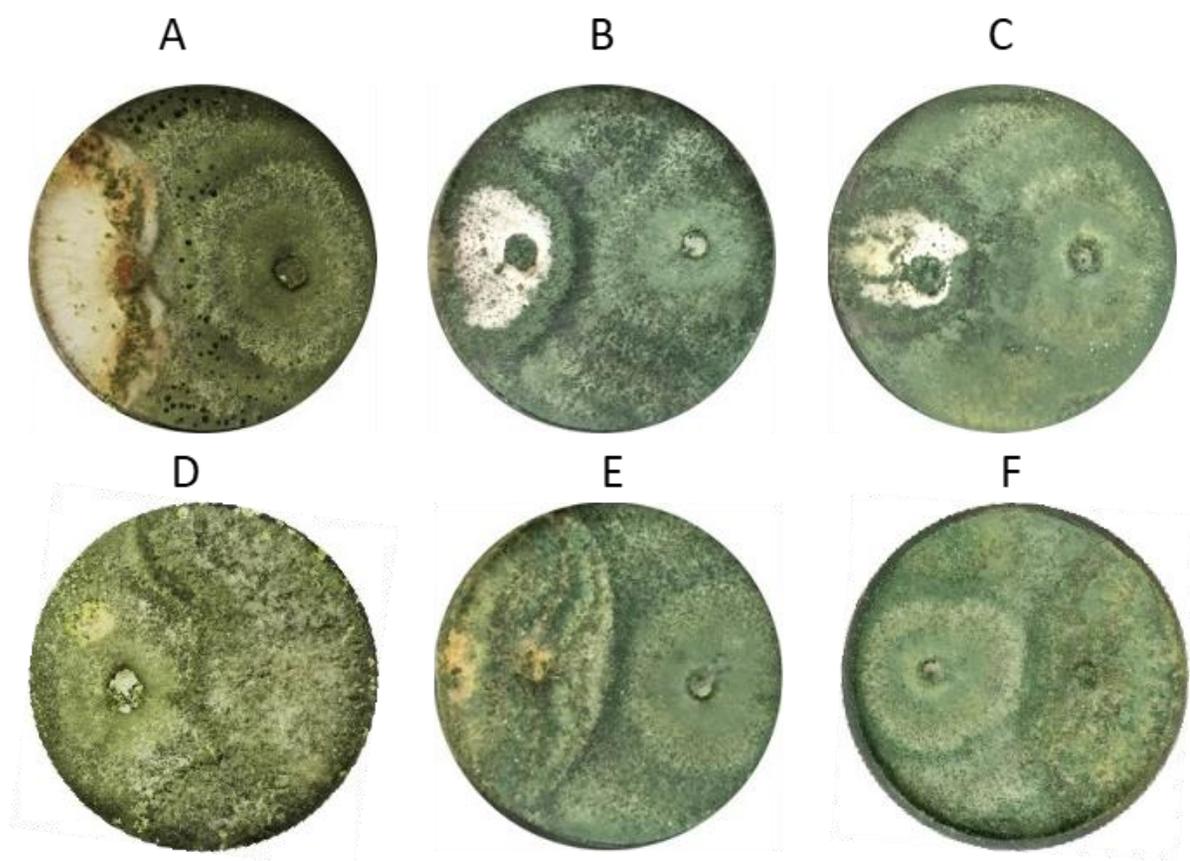


Figure 1. General overview of growth inhibition and mycoparasitism caused by *Trichoderma asperellum* strains on *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* at 21 days after co-inoculation. **A:** B001F. **B:** PCV01F. **C:** M001F. **D:** MC01F. **E:** PJB01F. **F:** YG001F.

CONCLUSIONS

All *Trichoderma* strains assessed showed antagonism and mycoparasitism capacity against Foc by restricting its radial growth expansion of the pathogen and colonizing the surface of mycelial Foc and subsequently sporulating on it. Considering both PIGR and mycoparasitism levels, isolates YG01F and M001F could be considered, in a preliminary assessment, as more promising BCAs. Further studies at greenhouse and field levels are undergoing to validate the biocontrol potential against FWB of these *T. asperellum* strains.

REFERENCES

1. Bubici G, Kaushal M, Prigigallo MI, Gómez-Lama Cabanás C, Mercado-Blanco J. 2019. Biological Control Agents Against Fusarium Wilt of Banana. *Front. Microbiol.* 10:616. doi: 10.3389/fmicb.2019.00616.
2. Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E.S.G. and Staver, C.P. (2018). Fusarium Wilt of Banana: Current Knowledge on Epidemiology and Research Needs Toward Sustainable Disease Management. *Front. Plant Sci.* 9:1468. doi: 10.3389/fpls.2018.01468.
3. Kavino, M., Manoranjitham, S. K. 2018. In vitro bacterization of banana (*Musa* spp.) with native endophytic and rhizospheric bacterial isolates: novel ways to combat Fusarium wilt. *Eur. J. Plant Pathol.* 151, 371–387. doi: 10.1007/s10658-017-1379-2.
4. Nuangmek W.W. 2008. Endophytic fungi from wild banana (*Musa acuminata* colla) works against anthracnose disease caused by *Colletotrichum musae*. *Research Journal of Microbiology.* 3(5):368; 368,374; 37.
5. O'Donnell K, Kistler HC, Cigelnik E, Ploetz RC. 1998. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 95(5):2044-9.
6. Pocasangre L, Sikora R, Vilich V, Schuster R. 1999. Survey of banana endophytic fungi from central america and screening for biological control of radopholus similis. II ISHS conference on fruit production in the tropics and subtropics. 531
7. White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications.* 18:315-22. *PCR Protocols* (pp.315-322).
8. Woo, S.L., Hermosa, R., Lorito, M., Monte, E. 2022. Trichoderma: A multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Rev. Microbiol.* doi.org/10.1038/s41579-022-00819-5.
9. Yu XX. The siderophore-producing bacterium, bacillus subtilis CAS15, has a biocontrol effect on fusarium wilt and promotes the growth of pepper. 2011. *Eur J Soil Biol.* 2011;47(2):138; 138,145; 145.

Productividad y huella hídrica del banano ‘gran enano’ bajo niveles de riego y densidades de siembra

Sérgio Luiz Rodrigues Donato^{1*}; Marcelo Rocha dos Santos¹; Thiago Alves Marcos¹; Eugênio Ferreira Coelho²; Oscar Eduardo Trujillo Obando³

¹Sector Agricultura, Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología Baiano, Campus Guanambi, BA – Brasil; ²Embrapa Yuca y Fruta, Cruz das Almas, BA – Brasil; ³Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia, Campus Palmira, Valle de Cauca, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Sérgio Luiz Rodrigues
Donato
sergio.donato@ifbaiano.edu.br

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Riego y Drenaje

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Rodrigues DSL, Rocha
DSM Alves MT, Ferreira
CE y Trujillo OOE. 2024.

Productividad y huella
hídrica del banano ‘gran
enano’ bajo niveles de riego
y densidades de siembra.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):
69

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2469](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2469)

RESUMEN

Banano tiene alta demanda hídrica, lo que requiere estrategias de manejo para aumentar la productividad del agua. El objetivo fue evaluar la productividad y huella hídrica de banano ‘Gran Enano’ en experimento en parcelas subdivididas con dos niveles de riego, 50% y 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) en parcelas, cuatro densidades de siembra, 2.000, 2.600, 3.200 y 4.000 plantas ha⁻¹ en subparcelas, bloques aleatorizados, con cuatro repeticiones. El aumento de la densidad de siembra aumenta la productividad y reduce la huella hídrica, independientemente de la lámina de irrigación. Aumento de la densidad de siembra con lámina del 50% de la ETc aumenta la productividad del agua de riego.

Palabras clave: *Musa* AAA, Irrigación con déficit, alta densidad de siembra, Agua.

ABSTRACT

The banana plant has high water requirements, which demands management strategies that increase water productivity. The objective was to evaluate the productivity and water footprint of the banana plant 'Grand Nain' in an experiment in subdivided plots with two irrigation depths, 50 and 100% of the crop's evapotranspiration (ETc) arranged in plots and four planting densities, 2,000, 2,600, 3,200 and 4,000 plants ha⁻¹ in subplots, randomized blocks, with four replications. Increasing planting density increases productivity and reduces water footprint, regardless of the irrigation level. Increasing planting density with a depth of 50% of ETc makes increases irrigation water productivity.

Keywords: *Musa* AAA, deficit irrigation, high planting density, water.



INTRODUCCIÓN

Globalmente, el uso del agua ha aumentado aproximadamente un 1% al año en los últimos 40 años, con proyecciones de un aumento del 20-30% para el año 2050, indicando mayores impactos de los cambios climáticos en la distribución, cantidad y variabilidad de los recursos hídricos (Giorgi et al., 2019), con mayores efectos de la escasez hídrica en las regiones áridas y semiáridas. Esto depende de la necesidad de implementar estrategias globales y locales coordinadas para aumentar la eficiencia en el uso del agua en diversas actividades humanas, como la agricultura de riego.

Las estimaciones de la producción anual de banano en Brasil son de 7,1 millones de toneladas, con un área cultivada de 461.413 ha (IBGE, 2023), sitúan al país como el cuarto mayor productor a nivel mundial. El banano ocupa el séptimo lugar en el Valor Bruto de la Producción Agropecuaria (VBPA), siendo los estados de São Paulo, Bahía, Minas Gerais y Santa Catarina los principales productores. En Bahía y Minas Gerais, se destacan las mesorregiones de Bom Jesus da Lapa y el norte de Minas, ambas situadas en el semiárido, como los mayores polos de producción de banano tipo Prata (AAB) bajo riego en el país. El aumento de la incidencia de la marchitez por *Fusarium* en el banano, MFB, tipo Prata en estas regiones se ha asociado a la variabilidad climática y ha llevado a su reemplazo por cultivares tipo Cavendish (AAA).

El cultivo de banano presenta una alta y constante demanda de agua debido a las características de la planta (Turner *et al.*, 2007), siendo las variedades Cavendish las menos tolerantes a la reducción de la disponibilidad de agua en el suelo, relacionado con el genoma A. La variabilidad climática y la competencia por los múltiples usos del agua convierten la escasez de agua en la principal limitación para la producción comercial de banano en todo el mundo, con pérdidas de rendimiento de hasta un 65% en áreas con lluvias moderadas a bajas (Panigrahi *et al.*, 2021).

En este escenario, el cultivo de banano irrigado en regiones semiáridas debe priorizar la precisión en el manejo del agua y del cultivo, para mejorar la productividad del agua de riego (Fernandez *et al.*, 2020) y reducir la huella hídrica y el aumento de carbono, mantenimiento o pérdidas en la productividad del cultivo dentro de límites económicamente razonables. Esto implica la adopción de estrategias de riego con aplicación de agua en cantidad menor que la evapotranspiración del cultivo, uso de variedades con mayor tolerancia al déficit hídrico y técnicas de cultivo que privilegien el aumento de la productividad por unidad de agua aplicada, por ejemplo, el aumento en la densidad de siembra (Magalhães *et al.*, 2020). Se supone que la combinación de estas estrategias puede alterar las condiciones hídricas del suelo y aumentar el

desacoplamiento ambiental (Souza *et al.*, 2019), debido a los cambios en las condiciones climáticas internas de la siembra de banano que actúan sobre los procesos de transpiración en comparación con el área externa de la plantación, proporcionando mayor comodidad a la planta, y, en consecuencia, reflejando en su estado hídrico e influyendo en su crecimiento, desarrollo y productividad.

En estas regiones, los productores han aumentado la plantación con altas densidades con la cosecha programada para concentrar la producción en períodos de mejor precio de la fruta en el mercado. También hay estudios sobre riego con déficit que demuestran un considerable ahorro en la aplicación de agua. Por ejemplo, riego lateralmente alternado en ‘BRS Princesa’ (Coelho *et al.*, 2019); riego con déficit asociado a la densidad de siembra en ‘BRS Platina’ (Santos *et al.*, 2019) y ‘Prata-Anã’ (Magalhães *et al.*, 2020).

El uso de riego con déficit está en línea con la demanda de estrategias globales y locales para un mejor uso y conservación del agua y, por lo tanto, se justifica profundizar este conocimiento en el banano para asegurar el ahorro hídrico. Estudios en condiciones específicas del sitio aumentan la confianza en la extrapolación de los resultados, y mientras tanto, hay demanda de resultados con cultivares Cavendish, actualmente muy plantadas en el semiárido brasileño. Así, el objetivo de este trabajo fue determinar los rendimientos de manos, del agua de riego y la huella hídrica del banano ‘Gran Enano’ en el primer ciclo de producción bajo diferentes densidades de siembra y láminas de riego.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un área experimental del Instituto Federal Baiano Campus Guanambi, latitud de 14°17’38’’ S, longitud de 42°41’43’’ W, altitud de 537 m, en un Latosol Rojo-Amarillo ubicado en el Perímetro Irrigado de Ceraíma, Guanambi, Bahía, Brasil.

En el experimento se utilizó la variedad Gran Enano (AAA) subgrupo Cavendish. El área fue subsolada, arada, rastrillada y surcada en sistema de filas dobles, con distancia de 3 m. Se utilizaron en la plantación plántulas micropropagadas distribuidas en quince, respetando los espaciamientos fijados en los tratamientos.

El sistema de riego fue por microaspersión, con emisores de caudal de 107 L h⁻¹ a una presión de 200 kPa; espaciamiento de 3.80 metros entre emisores y 5.0 m entre

líneas laterales, con superposición de área mojada. El agua utilizada en el riego fue derivada del Embalse de Ceraíma, clasificada como C2S1.

El manejo del riego se realizó en base a la evapotranspiración del cultivo (ETc), obtenida considerando la evapotranspiración de referencia (ETo) y el coeficiente de cultivo (Kc). La ETo se determinó indirectamente por el método de Penman-Monteith, boletín estándar FAO 56 de acuerdo con las variables meteorológicas, registradas durante el período experimental en la estación meteorológica automática (Modelo Vantage Pro Integrated Sensor, fabricado por Davis Instruments, Wayward, California, USA), instalada cerca del área de implantación del experimento.

Los valores del Kc utilizados en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo durante el manejo del riego siguieron la ecuación descrita por Borges *et al.* (2011). En el establecimiento del huerto y en la fase de crecimiento inicial, hasta 120 días después del trasplante, la lámina adoptada fue la misma para todos los tratamientos. Por la ecuación los valores de Kc variaron aproximadamente de 0.60 a 1.40 de los 120 días después del trasplante hasta los 300 días después del trasplante, siguiendo el valor de 1.40 hasta la cosecha del primer ciclo.

Los tratamientos, dos láminas de riego, 50 y 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) se asignaron a las parcelas, cuatro densidades de siembra, 2.000 (3,0 x 2,0 x 2,0 m), 2.600 (3,0 x 2,0 x 1,5 m), 3.200 (3,0 x 2,0 x 1,25 m) y 4.000 (3,0 x 2,0 x 1,0 m) plantas ha⁻¹, asignadas a las subparcelas, en un esquema de parcelas subdivididas, en un diseño de bloques al azar, con cuatro repeticiones.

Se evaluaron el rendimiento (t ha⁻¹ ciclo⁻¹), transformados en productividad por hectárea por año (t ha⁻¹ año⁻¹), la productividad del agua de riego (PAr) (kg ha⁻¹ mm⁻¹) y la huella hídrica (HH) (L kg⁻¹) del banano ‘Gran Enano’. Las evaluaciones se realizaron en el primer ciclo de producción. Las productividades se refieren a las plantas efectivamente cosechadas en cada tratamiento, combinación de lámina y densidad de siembra. Para los cálculos de la PAr y la HH, se consideró la lámina bruta de riego aplicada hasta la cosecha de cada subparcela, ya que al aumentar la densidad de siembra y reducir la lámina de riego, se retrasa la cosecha de los racimos.

Los datos de las características evaluadas se sometieron a la prueba de normalidad y homogeneidad. Posteriormente, se sometieron al análisis de varianza para verificar la ocurrencia de interacciones entre los factores o del efecto del factor principal. En caso de interacciones significativas, se realizó el desglose, realizándose el análisis de regresión para las densidades de siembra y comparación de medias por la

prueba Tukey al 5% de significancia para las láminas de riego. Para la elección de los modelos de regresión que mejor se ajusten a los datos, se consideró la significancia de los modelos y los coeficientes beta por la prueba t.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por el análisis de varianza, hubo interacciones significativas ($p \leq 0,05$) entre láminas de riego y productividad del agua de riego y no hubo interacciones significativas ($p \geq 0,05$) entre láminas de riego y densidades de siembra para productividad de manos y huella hídrica. Hubo efecto independiente de láminas de riego y densidad de siembra en la productividad de manos y en la huella hídrica.

Del análisis de la productividad del agua de riego (PAR) para las diferentes densidades de siembra en las dos láminas de riego (Figura 1), se nota que la lámina del 50% de la ETc permite mayor productividad del agua de riego, y, con el aumento de la densidad de siembra en la lámina del 50% de la ETc, el incremento en la PAR es mayor, cuando comparado con la lámina del 100% de la ETc, como observado por el coeficiente angular del modelo de estimación. Lo que sugiere ser posible asociar menor reposición hídrica con mayor densidad de siembra corroborando Magalhães *et al.* (2020) y Santos *et al.* (2019). Esto está de acuerdo con las presuposiciones, que la unión de esas estrategias puede alterar las condiciones hídricas del suelo y aumentar el desacoplamiento ambiental (Souza *et al.*, 2019).

Por los modelos ajustados se estiman, respectivamente, para cada planta añadida al stand a partir de 2.000 plantas ha^{-1} , incrementos en la productividad del agua del orden de $0,02639 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ y de $0,010231 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, respectivamente, para las láminas del 50% y 100% de la ETc.

Entre las características influenciadas de forma independiente por la lámina de riego, hubo diferencia con mayores valores para la lámina del 50% de la ETc para productividad de manos (Figura 2A) y menor huella hídrica para el 50% de la ETc (Figura 2B).

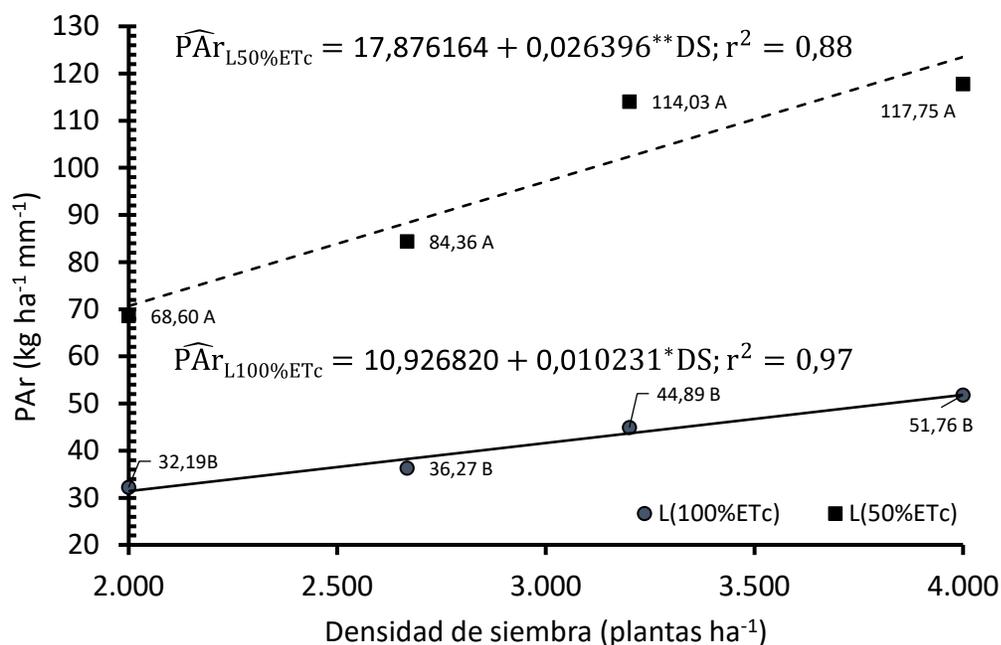


Figura 1. Productividades del agua de riego (PAR) del banano ‘Gran Enano’ bajo diferentes densidades de siembra (DS) y láminas de riego al 100% (L100%ETc) y al 50% (L50%ETc) de la evapotranspiración del cultivo (ETc). Los promedios seguidos de letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) para cada densidad de siembra. *significativo al 5 %, **significativo al 1 % de probabilidad según la prueba t.

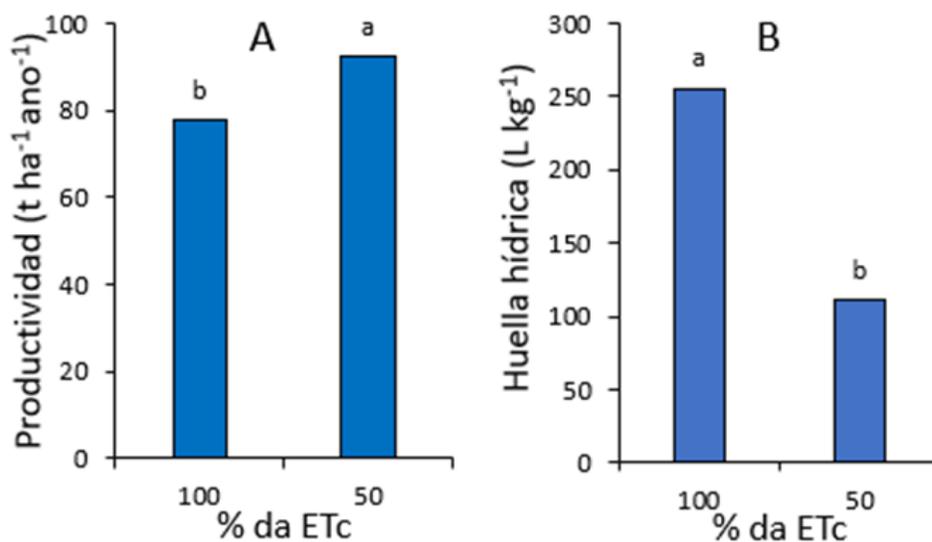


Figura 2. Productividades de manos (A) y huella hídrica (B) del banano ‘Gran Enano’ bajo láminas de riego con 100 y 50% de la evapotranspiración del cultivo (ETc), independiente de la densidad de siembra. Los promedios seguidos de letras diferentes difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) para cada lámina de riego.

Para el estudio del efecto independiente de la densidad de siembra, se presentan los datos en gráficos de regresión ajustados en modelos lineales (Figura 3). Para la productividad de manos, se ajustó un modelo logarítmico con el aumento de la densidad de siembra, mientras que, para la huella hídrica, se ajustó un modelo lineal decreciente con el aumento de la densidad de siembra, independiente de la lámina de riego (Figura 3). Por lo modelo ajustado, se estima, para la huella hídrica, disminuciones de 0,0459 L kg⁻¹ para cada planta añadida al stand a partir de 2.000 plantas ha⁻¹ y incrementos logarítmicos en la productividad.

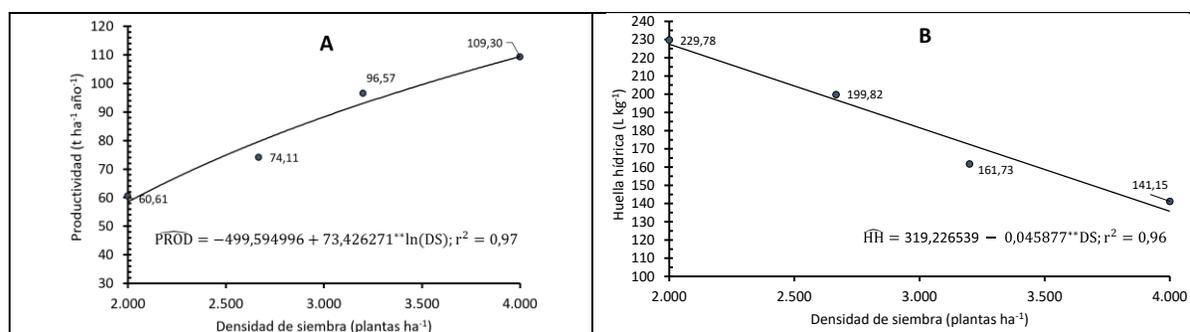


Figura 3. Productividades de manos (A) y huella hídrica (B) del banano ‘Gran Enano’ bajo diferentes densidades de siembra (DS), independiente de la lámina de riego. *significativo al 5 %, **significativo al 1 % de probabilidad según la prueba t.

Según los resultados obtenidos, para las condiciones en que se desarrolló el trabajo, puede ser una opción viable, el cultivo de banano ‘Gran Enano’ en sistema adensado con reposición hídrica del 50% de la ETC, pues, lo hace posible mayor productividad de manos, del agua de riego y menor huella hídrica. Resultados similares, con banano ‘BRS Platina’ fueron encontrados por Santos *et al.* (2019), con el ‘Prata-Anã’ por Magalhaes *et al.* (2020), en los que los autores resaltan que es posible obtener mayores rendimientos y mayor eficiencia en el uso del agua, utilizando una mayor densidad de siembra y nivel de riego por debajo del 100% de la ETC.

CONCLUSIONES

El aumento de la densidad de siembra proporciona aumento de la productividad de manos y reduce la huella hídrica, independientemente de la lámina de riego.

El aumento de la densidad de siembra con uso de lámina del 50% de la ETC posibilita aumento de la productividad del agua de riego.

El cultivo del banano ‘Gran Enano’ por un ciclo, en región semiárida, puede ser sistematizado en mayores poblaciones de plantas con menor aporte de agua.

REFERENCIAS

1. Borges, AL, Coelho, EF, Costa, EL, Teixeira, AHC. 2011. Irrigação e fertirrigação da bananeira. In: Souza, VF, Marouelli, WA, Coelho, EF, Pinto, JM, Coelho Filho, MA. (eds.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Embrapa informação tecnológica, Brasília, DF, Brasil, pp.369-397.
2. Coelho, EF, Santos, MR, Donato, SLR, Cruz, JL, Oliveira, PM, Castricini, A. 2019. Soil-water-plant relationship and banana yield under partial root-zone drying irrigation. *Scientia Agricola* 76:362-367.
3. Fernández, JE, Alcon, F, Diaz-Espejo, A, Hernandez-Santana, V, Cuevas, MV. 2020. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural Water Management* 237:106074.
4. Giorgi, F, Raffaele, F, Coppola, E. 2019. The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. *Earth Syst. Dyn.* 10:73–89.
5. IBGE 2023. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA. Disponível em< <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemático-da-produção-agrícola.html?=&t=resultados>>. Consulta el 27 de octubre del 2023
6. Magalhaes, DM, [Donato, SLR](#), Santos, MR, [Brito, CFB](#), [Fonseca, VA](#), Souza, BS. 2020. Yield of ‘Prata-Anã’ banana plants under water deficit and high plant density. *Revista Brasileira de Fruticultura* 42:e-046.
7. Panigrahi, N, Thompson, AJ, Zobelzu, S, Knox, JW. 2021. Identifying opportunities to improve management of water stress in banana production. *Scientia Horticulturae* 276.
8. Santos, MR, Donato, SLR, Magalhães, DB, Cotrim, MP. 2019. Precocity, yield and water-use efficiency of banana plants under planting densities and irrigation depths, in semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 49:e53036.
9. Souza, DF, Pinto, JVDN, Costa, DL, Vieira, ICDO, Silva, TG, Souza, PJ. 2019. Controles biofísicos da evapotranspiração em cultivo de feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23:725-732.
10. Turner, DW, Fortescue, JA, Thomas, DS. 2007. Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19: 463-484.

Uso eficiente del agua de riego en las plantaciones de banano (*Musa AAA*)

Sebastián Zapata Henao^{1*}; Eliecer David Díaz Almanza²; Julián Andrés Valencia Arbeláez¹; Diego Alejandro Londoño Puerta¹; Helena Bornacelly Horta¹; Diego Felipe Fera Gómez¹; Juan José Pérez Zapata¹; Franklin Palacios Zapata¹

¹Centro de investigaciones del Banano. Carepa, Antioquia, Colombia; ²Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Sebastián Zapata Henao
dircenibanano@augura.com.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Riego y Drenaje

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Zapata HS, Díaz AED,
Valencia AJA, Londoño
PDA, Bornacelly HH, Fera
GDF, Pérez ZJJ y Palacios.
2024. Uso eficiente del
agua de riego en las
plantaciones de banano
(*Musa AAA*). *Acorbat
Revista de Tecnología y
Ciencia* 1(1): 70
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2470](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2470)

RESUMEN

El banano requiere que el suelo permanezca con niveles óptimos de humedad, ya que es sensible al déficit y exceso hídrico. Se evaluaron plantas en invernadero sometidas a 5 diferentes escenarios hídricos (EH) en 3 tipos de texturas de suelo y en campo con riego convencional y en función del potencial matricial (PM) del suelo para comparar el uso de agua de riego. PM mayores a 30 kPa disminuyen el crecimiento y desarrollo. Una reducción del agua de riego del 40% no afectó la productividad. El PM es una excelente alternativa para monitorear las condiciones hídricas del suelo y mejorar la eficiencia del recurso hídrico.

Palabras clave: escenarios hídricos, potencial matricial, recurso hídrico, agua.

ABSTRACT

Banana requires that the soil remain at optimum moisture levels, as it is sensitive to water deficit and excess. Plants were evaluated in greenhouses subjected to 5 different water conditions in 3 types of soil textures and in the field with conventional irrigation and as a function of soil matric potential (MP) to compare the use of irrigation water. MP greater than 30 kPa decreased growth and development. A 40% reduction in irrigation water did not affect productivity. PM is an excellent alternative to monitor soil water conditions and improve water resource efficiency.

Keywords: water scenario, soil matric potential, water resource, water.

INTRODUCCIÓN

La agroindustria bananera de Colombia está catalogada entre los tres productos de mayor importancia en exportaciones agrícolas, junto al café y las flores (ICA, 2021). En el año 2020 contó con 51.454 hectáreas en producción, distribuidas en los



departamentos de Antioquia (subregión Urabá), Magdalena y La Guajira, con una productividad promedio 2134 cajas por hectáreas año (Augura, 2020). Sin embargo, año a año se presentan variaciones en la productividad, debido a diversos factores como la baja eficiencia del uso del recurso hídrico y las condiciones climáticas de las zonas de producción.

El cultivo de banano es altamente demandante de agua y requiere que el suelo permanezca con niveles óptimos de humedad, ya que la planta es bastante sensible al estrés hídrico tanto por déficit como por exceso (Toro-Trujillo *et al.*, 2016). En las prácticas de riego es común encontrar manejo ineficiente del recurso hídrico en dicha práctica, con consecuencias tales como desperdicio de agua, hipoxia y anoxia, erosión del suelo, entre otras (Miñan *et al.*, 2021).

El Potencial matricial es definido como las fuerzas de atracción del agua por la superficie de las partículas sólidas del suelo y a las fuerzas de atracción molecular entre las propias moléculas del agua. El conjunto de estos dos tipos de fuerzas hace que el agua sea retenida por adsorción (por la matriz del suelo) y por capilaridad (por las mismas moléculas de agua) en suelos con un contenido hídrico por debajo del nivel de saturación (Angella *et al.*, 2016). Se ha estimado a esta variable, medida en unidades de presión, como el mejor criterio para estimar el contenido de agua en el suelo, especialmente áreas no salinas (Niño *et al.*, 2013).

En busca de ayudar al productor bananero en la toma de decisiones y un mejor uso del recurso hídrico, se tiene como objetivo establecer una metodología que permita el uso eficiente del agua de riego a partir de mediciones del potencial matricial (PM) del suelo. Este procedimiento permitirá que se pueda dar un manejo eficiente y sostenible del recurso hídrico y se reduzcan las malas prácticas de sobre aplicar agua, o no realizar las aplicaciones en los momentos adecuados alcanzándose a presentar déficit hídrico en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase en condiciones semicontroladas

Se realizó en el municipio de Carepa, departamento de Antioquia, Colombia. El clima que rodea la casa malla es el de un bosque húmedo tropical, con temperaturas que oscilan entre 22 y 32 grados Celsius (°C), 88% de humedad relativa en promedio y una precipitación anual promedio de 2700 mm (IDEAM, 2022).

Esta fase se llevó a cabo en el año 2021 y tuvo una duración de 5 meses. Se determinaron los umbrales de PM óptimos para el cultivo de banano, rango en el cual la planta de banano, independientemente del tipo de suelo, dispone de un contenido adecuado de humedad. Se manejó un total de 15 tratamientos en un arreglo factorial de 5x3, tres tipos textura de suelo: franco arcillo arenoso (Gr), franco arcilloso (Me) y arcilloso (Fi), en cinco escenarios hídricos (EH) del suelo: saturación: 0-5 kPa (T2), capacidad de campo: 15-20 kPa (T2), déficit leve: 30 a 40 kPa (T3), déficit moderado: 45 a 55 kPa (T4) y sin riego: mayor a 55 kPa (T5). Cada uno con 3 repeticiones.

Cada unidad experimental se compuso de una planta de banano sembrada en caneca de 90x30 centímetros (cm), el material empleado fue clon de musácea Cavendish – Gran enano. En cada repetición se instalaron dos sensores Irrrometer Watermark®, a 20 y 40 cm respectivamente, dada que es a la profundidad donde se encuentran el mayor porcentaje de raíz de las plantas (Soto, 2008). Finalmente se seleccionó al azar una de las tres repeticiones para tomar la decisión de aplicar riego, cuando el PM se encuentre entre los umbrales establecidos en cada tratamiento. El experimento contó con un sistema de riego por goteo automático. Se evaluó la emisión foliar, altura de la planta y perímetro del pseudotallo.

Fase en campo

Esta fase se realizó en el año 2022, con una duración de 12 meses, en una finca productora de banano tipo exportación ubicada en el municipio Zona Bananera, departamento de Magdalena, Colombia. El clima de la región está caracterizado por temperaturas que oscilan en promedio entre 22 a 34 °C, humedad relativa promedio del 80% y 1300 mm de lluvias promedio anual (IDEAM, 2021). La Zona Bananera del Magdalena presenta un régimen de precipitaciones bimodal, entre diciembre y abril se presenta la época seca, cuando el cultivo de banano está bajo una condición de déficit hídrico y necesidades de riego. En los meses comprendidos entre mayo a agosto, es considerado un periodo lluvioso; sin embargo, si la distribución temporal de la lluvia no es homogénea, en días seguidos sin lluvias se hace necesario aplicaciones de riegos suplementarios para un adecuado desarrollo y producción del cultivo. En el trimestre septiembre a noviembre, es cuando se registran los mayores volúmenes de lluvia en la zona, siendo octubre el mes con los mayores registros.

Se realizó un análisis integrado de variabilidad de suelos, en el que se evaluaron parámetros de diagnóstico de salud del suelo como textura, pH y resistencia a la penetración. Con este muestreo, se generaron mapas de variabilidad espacial, donde se seleccionaron dos áreas con las mismas condiciones en estas variables, y la misma

variedad sembrada. Se instalaron 3 sensores Irrrometer Watermark® en cada área de estudio en las mismas profundidades del primer experimento para el seguimiento del contenido de humedad del suelo en función del PM.

Se aplicó riego en ambos sitios manejando dos metodologías distintas para cada área. Un tratamiento con criterio de riego manejado históricamente en la finca, el cual se basa en un cálculo del balance hídrico de acuerdo con los registros de precipitación de un pluviómetro manual (Convencional) y la evapotranspiración de referencia y el tratamiento restante con metodología de aplicación de agua en base al monitoreo del contenido de humedad del suelo, en el cual la cantidad y tiempo de aplicación se calcula tomando en consideración un umbral límite de PM, de 25 kPa (Ajustado). Se evaluaron las siguientes variables fisiológicas y productivas: perímetro y altura del pseudotallo, emisión foliar, raíces adventicias y peso de racimo, en 20 plantas en etapas fenológicas F10 (11 semanas de siembra) y 20 en diferenciación (23 semanas de siembra) para cada tratamiento.

Análisis estadístico

En ambas fases los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de Duncan para la etapa en invernadero y t-student para la etapa en campo ($p \leq 0.005$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase en invernadero

En el seguimiento al potencial matricial del suelo se observó en los EH de saturación (T1) y capacidad de campo (T2) los valores más bajos de PM, con una media de 3 y 19 kPa respectivamente (Figura 1A). El déficit leve (T3), moderado (T4) y sin riego (T5) registraron los valores más altos de PM, siendo este último el que reportó el valor más alto, de 193.1 kPa. Estos resultados concuerdan con los rangos de PM planteados inicialmente en el estudio.

No se encontraron diferencias en la emisión foliar en los 3 tipos de texturas evaluadas bajo el mismo EH en la fase de invernadero (Figura 1B). Los EH de saturación (T1) y capacidad de campo (T2) presentaron los valores más altos de emisión foliar promedio, mientras que los tratamientos de déficit leve (T3) y moderado (T4) presentaron valores similares de emisión foliar promedio. Estos resultados indican que, al mantenerse niveles similares en los valores de potencial matricial, sin importar

la textura del suelo, las plantas tendrán una respuesta semejante en el número de hojas emitidas por semana.

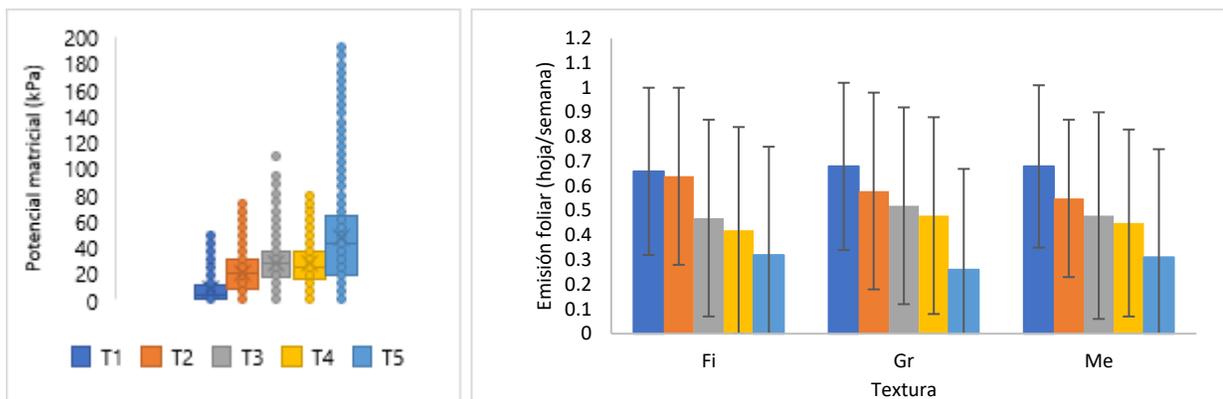


Figura 1. Evaluación de los diferentes escenarios hídricos. Comportamiento del potencial matricial del suelo (A). Emisión foliar promedio en cada tipo de textura (B).

Los EH de saturación hídrica y capacidad de campo presentaron los valores más altos de crecimiento y desarrollo (altura y perímetro) en las plantas evaluadas (Figura 2A y Figura 2B). En este mismo aspecto no se presentaron diferencias entre el déficit leve y moderado. Esto parece indicar PM mayores a 30 kPa pueden afectar el crecimiento y desarrollo de la planta de banano.

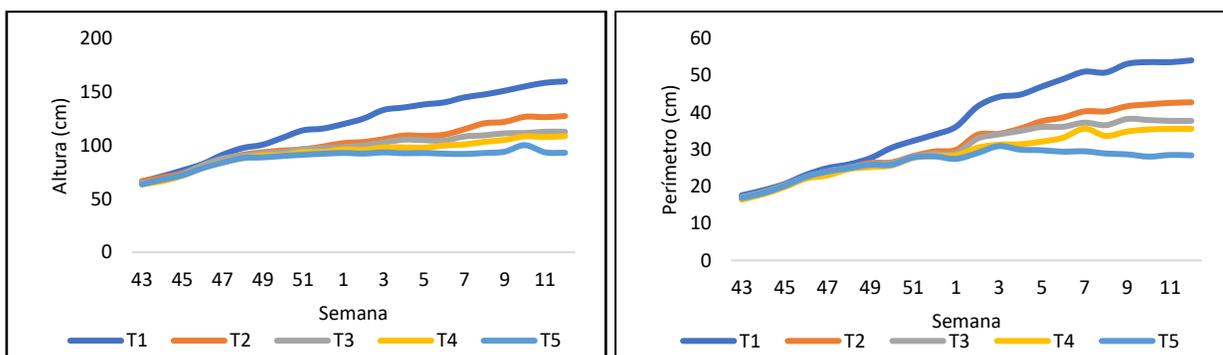


Figura 2. Crecimiento y desarrollo de las plantas de banano sometidas a diferentes escenarios hídricos. Promedio de altura (A). Promedio de perímetro del pseudotallo (B).

Fase en campo

El área de estudio seleccionada presentó una textura Franco Arcillosa, un pH moderadamente ácido (entre 5.5 y 6) y una resistencia a la penetración moderadamente firme (entre 1.2 y 1.5 Mpa), de acuerdo al análisis de variabilidad espacial de suelos.

Se mantuvo durante el año 2022 un seguimiento al PM. El criterio ajustado logró mantener valores de PM promedio semanales por debajo de 25 kPa, mientras que el convencional no superó los 31 kPa (Figura 3). Los riegos se suspendieron en el mes de mayo 2022 debido al inicio del periodo de lluvias en la región, el cual se prolongó hasta el final del año.

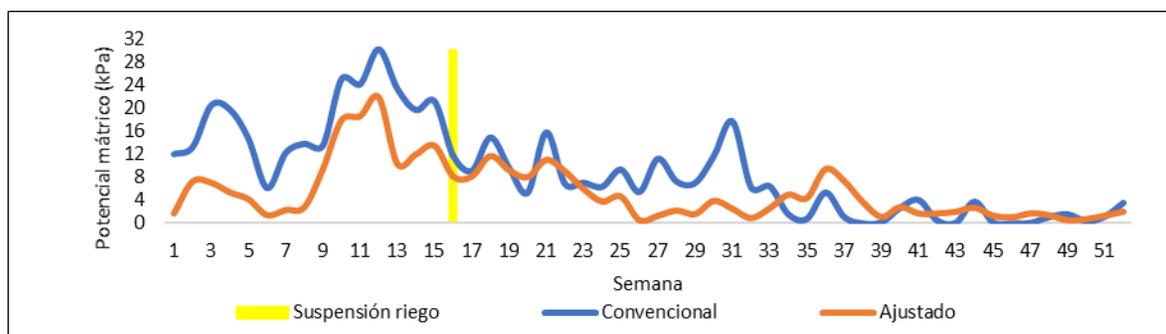


Figura 3. Monitoreo del potencial matricial del suelo en el año 2022.

En el tratamiento convencional se aplicaron 440.51 mm de agua por riego y 261.37 mm en el tratamiento ajustado (Figura 4). Representó una disminución en la lámina de agua aplicada de 40.7% y de 34.7% en el tiempo de uso del sistema de riego. Esto indica la importancia del uso de herramientas para el monitoreo del contenido de humedad del suelo para determinar el tiempo adecuado de aplicación, el cual puede evitar pérdidas en el recurso hídrico, ya que una mayor cantidad de agua aplicada no parece verse reflejada en los valores de PM en el tratamiento convencional.

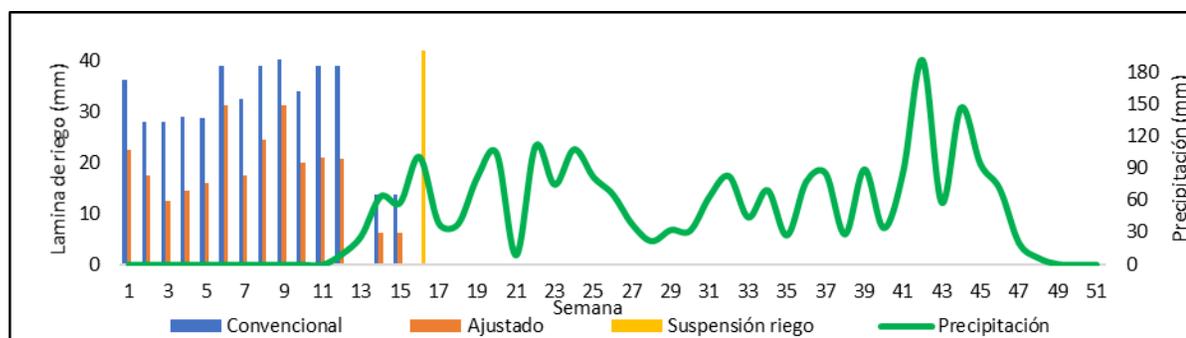


Figura 4. Agua aplicada por riego y precipitación en campo año 2022.

En campo no se encontraron reflejados efectos de la disminución de la lámina de agua aplicada en el crecimiento y desarrollo de las plantas evaluadas. Se obtuvieron condiciones similares de altura, perímetro y emisión foliar entre las plantas en etapa

F10 de ambos tratamientos, esta misma situación se evidenció en las plantas en etapa de diferenciación floral (Figura 5).

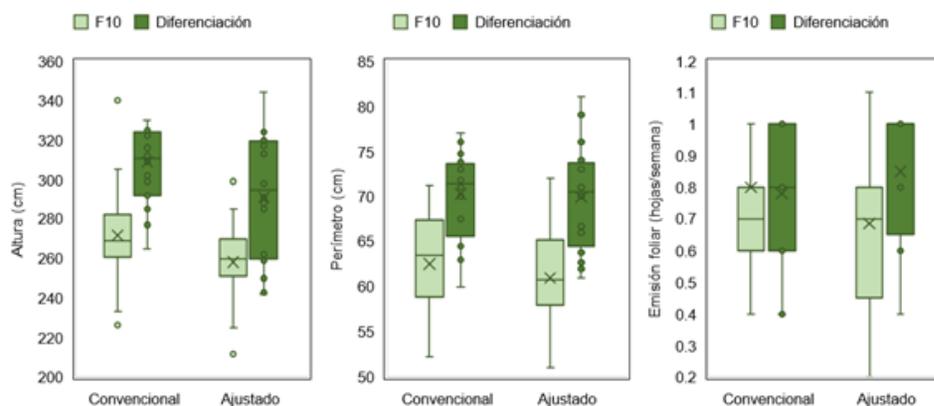


Figura 5. Crecimiento y desarrollo de plantas en campo año 2022.

En cuanto a las variables productivas, no se observaron diferencias significativas en el peso promedio del racimo en el año 2022 (Figura 6). Ambos tratamientos compartieron un peso promedio de 20 kg. Esta reducción en el uso de agua de riego no se vio reflejada en la productividad de la finca. Estos resultados reflejan la importancia de un buen manejo hídrico, en el cual una reducción de la cantidad de agua aplicada históricamente no necesariamente implica una disminución en el rendimiento del cultivo.

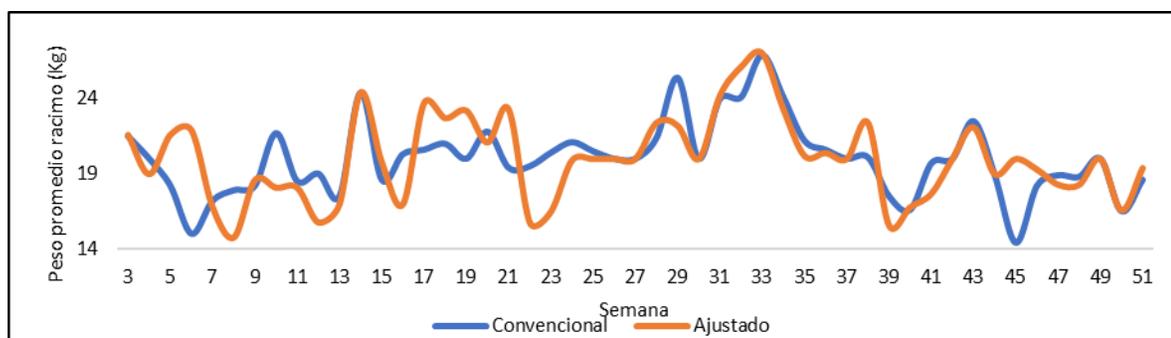


Figura 6. Peso promedio de racimo año 2022.

CONCLUSIONES

Mantener unas condiciones hídricas adecuadas en el suelo, sin importar el tipo de textura, aumentará el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se debe tener en cuenta la curva de secado de cada tipo de suelo, para mejorar la eficiencia del recurso hídrico y evitar pérdidas en los niveles de humedad óptimos para el cultivo de banano.

Se puede disminuir la lámina de riego aplicada en el cultivo sin afectar la productividad del mismo, realizando un monitoreo constante de las condiciones hídricas del suelo.

El potencial matricial del suelo es una variable vital para realizar un mejor uso del agua para riego y reducir los costos de producción asociados a las prácticas de irrigación.

REFERENCIAS

1. ICA 2021. Importaciones y exportaciones agropecuarias certificadas por el instituto colombiano agropecuario (ICA) cuarto trimestre 2021. <https://www.ica.gov.co/areas/proteccion-fronteriza/logistica/boletines/2021/boletin-cuarto-trimestre-2021-1>. Consulta el 11 diciembre 2023.
2. Augura 2020. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2021/06/Coyuntura-Bananera-2020.pdf>. Consulta el 4 de enero 2022.
3. Toro-Trujillo A, Arteaga R, Vázquez M, Ibáñez L. 2016. Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Tecnología y Ciencias del Agua* vol. VII, num 6. 105-122.
4. Miñan E, Vegas S, Quevedo V, García L. Improvement of the flood irrigation system using sensors in organic banana plantations in Piura, Perú. 25th International Congress on Project Management and Engineering Alcoi, 6th – 9th July 2021.
5. Angella G, Frías C, Salgado R. 2016. Conceptos básicos de las relaciones agua - suelo - planta. INTA ediciones. Santiago del Estero, Argentina. 34 p.
6. Niño J, Cuervo J, Villalobos R. 2013. Efecto del potencial mátrico del suelo en el crecimiento del cultivo de estevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* vol. VII, num 7. 240-251.
7. Soto M. 2008. Bananos: técnicas de producción, manejo postcosecha y comercialización. Tercera edición. San José, Costa Rica. Litografía e Imprenta LIL. 320 P.
8. IDEAM 2022. Sistema de Información para la Gestión de Datos de Hidrología y Meteorología. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>. Consulta el 31 de octubre del 2022.

Niveles freáticos y su influencia sobre la fenología y desarrollo del cultivo de banano

Diego Felipe Feria-Gómez^{1*}; Diego Alejandro Londoño-Puerta¹; Sindy Paola Cardona-Flórez¹

¹Asociación de Bananeros de Colombia - AUGURA, Centro de Investigaciones del Banano - CENIBANAO, Conjunto residencial Los Almendros, Km 4 Vía Carepa – Apartadó, Carepa (Colombia).

*Autor de

Correspondencia:

Diego Felipe Feria-Gómez
analistafisiologia1@augura.co
m.co

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Riego y Drenaje

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Feria-Gómez DF, Londoño-
Puerta DA y Cardona-
Flórez SP. 2024. Niveles
freáticos y su influencia
sobre la fenología y
desarrollo del cultivo de
banano. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
71
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2471](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2471)

RESUMEN

Los eventos de precipitación que se presentan en la zona productora en Urabá, cada vez mayores durante los últimos años, ocasionan disminuciones prolongadas del nivel freático y propician múltiples expresiones del estrés en las plantaciones. Para relacionar la influencia sobre el desarrollo, se seleccionaron plantas alrededor de cuatro condiciones de nivel freático (<100, 100 – 120, 120 – 160 y >160 cm), y se monitorearon los tiempos fenológicos, la producción de hojas, los cambios morfológicos y el nivel freático. Se encontró que los niveles más superficiales afectan significativamente el volumen del pseudotallo y la emisión foliar, además de generar condiciones donde las plantas son más propensas a manifestaciones del estrés.

Palabras clave: *Musa* AAA subgrupo Cavendish, fenología vegetal, emisión foliar, estrés, agua.

ABSTRACT

The precipitation events that occur in the production zone of Urabá, which have been increasing in recent years, cause prolonged decreases in the water table and lead to multiple expressions of stress in the plantations. To relate the influence on development, plants were selected around four water table conditions (<100, 100 - 120, 120 - 160 and >160 cm), and phenological times, leaf production, morphological changes and water table in the wells were monitored. It was found that shallower levels significantly affect pseudostem volume and leaf emission, in addition to generating conditions where plants are more prone to stress manifestations.

Keywords: *Musa* AAA subgroup Cavendish, plant phenology, leaf emission, stress, water.



INTRODUCCIÓN

Actualmente en la zona productora de banano del Urabá, los eventos de precipitación han sido un 33% mayores respecto al año 2020 (Figura 1), esto hace que la mayoría de las plantaciones experimenten disminuciones del nivel freático más frecuentemente, a pesar de la amplia red de drenajes con la que cuentan los sistemas (Salazar, 2012); esto propicia condiciones de hipoxia en la raíz y diferentes expresiones del estrés como, producción de especies reactivas de oxígeno, producción de raíces adventicias (Teoh *et al.*, 2022), Además, se ha demostrado que el nivel freático también afecta el vigor de la planta y la cantidad de hojas a cosecha y de forma más importante el peso del racimo (Muñoz-Ruiz y León-Quirós, 2016). Los niveles freáticos también causan afectaciones sobre el desarrollo de la planta, al extender sus etapas fenológicas y disminuir el retorno (Sancho, 1993).

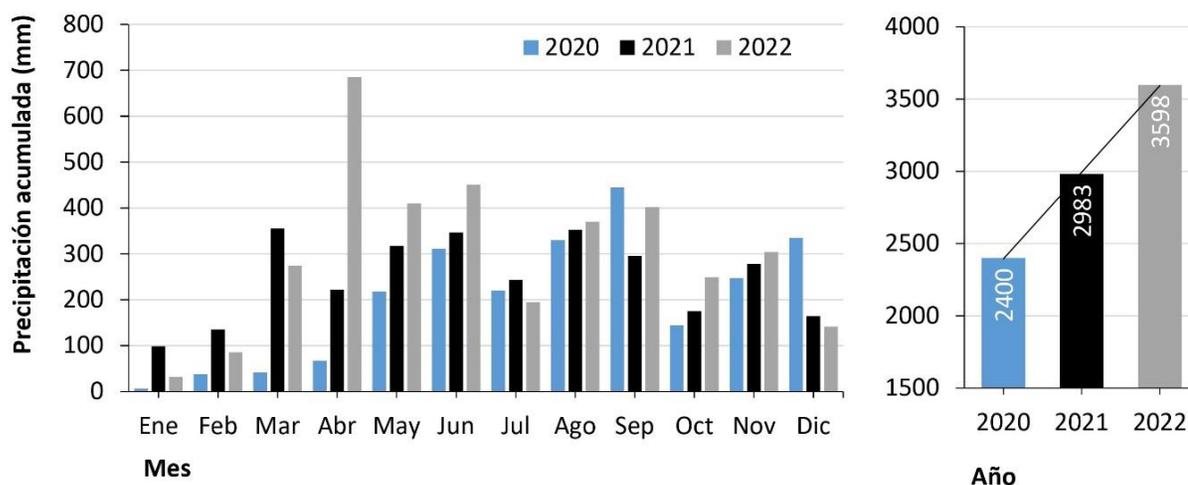


Figura 1. Precipitación acumulada en la zona Urabá centro.

Debido a las condiciones climáticas adversas por las que atraviesa la zona productora, y los efectos que esto tiene sobre las plantaciones en Urabá, se plantea monitorear las fluctuaciones del nivel freático, sus relaciones con el clima y su efecto sobre la fenología y desarrollo de las plantas de banano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este ensayo se seleccionaron los pozos de nivel freático, instalados y distribuidos en todo el Campo Experimental y Demostrativo Ramiro Jaramillo Sossa (Carepa – Colombia), que tuvieran su promedio anual histórico en el rango de cuatro tratamientos determinados (<100, 100 – 120, 120 – 160 y >160 cm) y por cada tratamiento se eligieron los tres pozos que mejor se ajustaban a dicho rango. Alrededor de cada pozo se seleccionaron cuatro grupos de plantas (cohortes) en etapa F10, en cuatro periodos entre el año 2021 y 2023, luego se cuantificó semanalmente, la emisión foliar, número de hojas emitidas, semanas a emisión de la hoja 12 (Inicio de la etapa reproductiva) y semanas a floración, además se midieron parámetro de crecimiento, expresiones del estrés y el nivel freático en el pozo de observación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el ensayo, los niveles freáticos mostraron dos temporadas donde fueron más estables alrededor del promedio (Figura 2A, 2B), por efecto de las precipitaciones continuas, y cuando estas disminuyeron su frecuencia el nivel freático fue más profundo (Figura 2C); aunque la correlación de estas dos variables es alta (Figura 2D), el nivel freático también es influenciado por factores como la textura, la conductividad hidráulica y la eficiencia del sistema de drenaje (Rawls, 1983). Como las plantas de la cohorte 1, fueron las que se desarrollaron en condiciones más constantes de los niveles freáticos requeridos, las comparaciones entre grupos se realizaron en estas.

Las poblaciones muestreadas presentaron variaciones significativas del promedio del nivel freático (Figura 3A), al mismo tiempo se registraron variaciones en la emisión foliar (Figura 3B), el volumen del pseudotallo (Figura 3E) y su tasa de acumulación (Figura 3F), esto se pudo deber a la afectación de procesos bioquímicos que se alteran debido al aumento del nivel freático (Teoh *et al.* 2022). Por su parte las hojas totales y la duración de las etapas fenológicas no mostraron variaciones significativas (Figura 3C, 3D), siendo factores más estables e importantes en la disponibilidad de área foliar para los procesos fotosintéticos (Muñoz-Ruiz & León-Quirós, 2016).

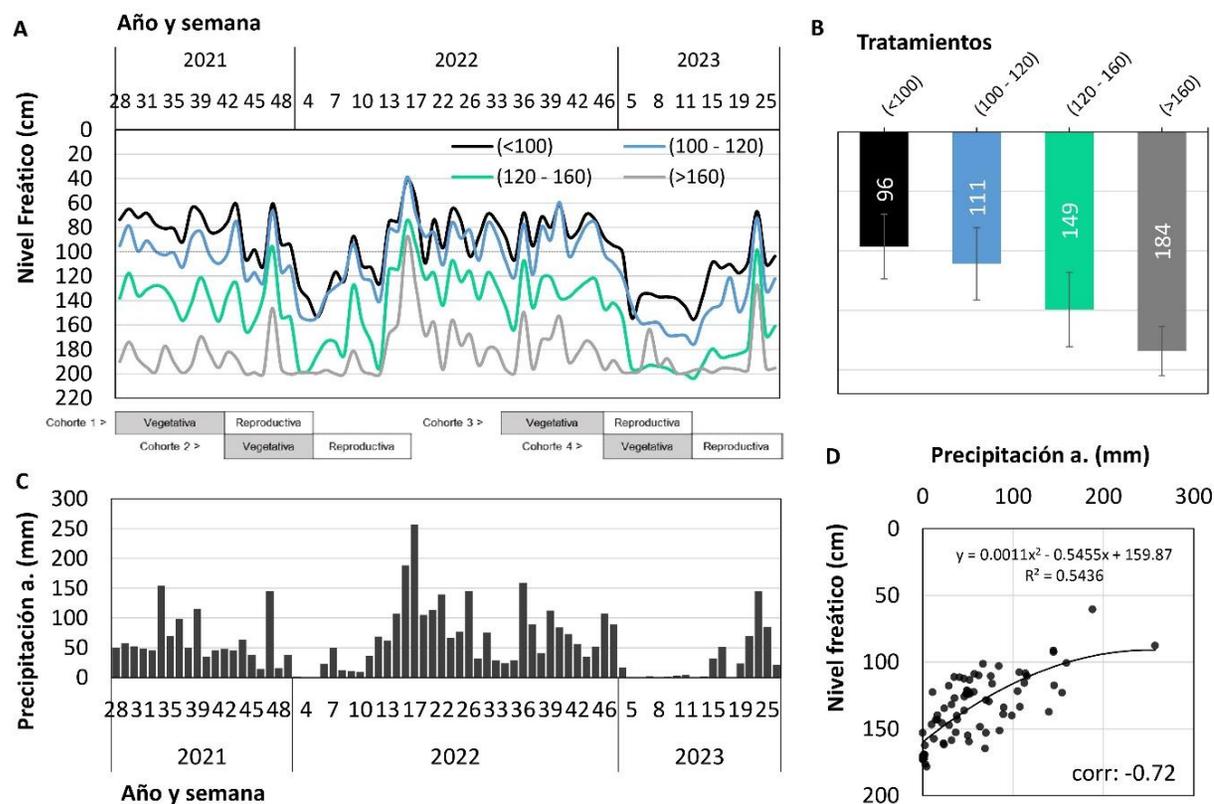


Figura 2. Comportamiento del nivel freático desde el segundo semestre de 2021 y hasta el primer semestre de 2023, distribución temporal de las etapas fenológicas en cada cohorte de plantas seleccionadas (A), promedio general del nivel freático en cada tratamiento (B), precipitación acumulada semanal (C), correlación (Spearman) entre la precipitación acumulada y el promedio del nivel freático (puntos negros) (D).

Existen otras características que se expresan como consecuencia del estrés por exceso hídrico, una de ellas es el acortamiento de entrenudos o arrepollamiento, este se encuentra en mayor proporción en poblaciones que se desarrollan a niveles freáticos menores a 100 centímetros, mientras que el agobio es más probable en niveles freáticos menores a 120 centímetros. Por otro lado, las raíces adventicias son más generalizadas, y no obedecen a las variaciones del nivel freático, pero se observan con mayor frecuencia cuando suceden eventos seguidos de precipitación (Figura 4).

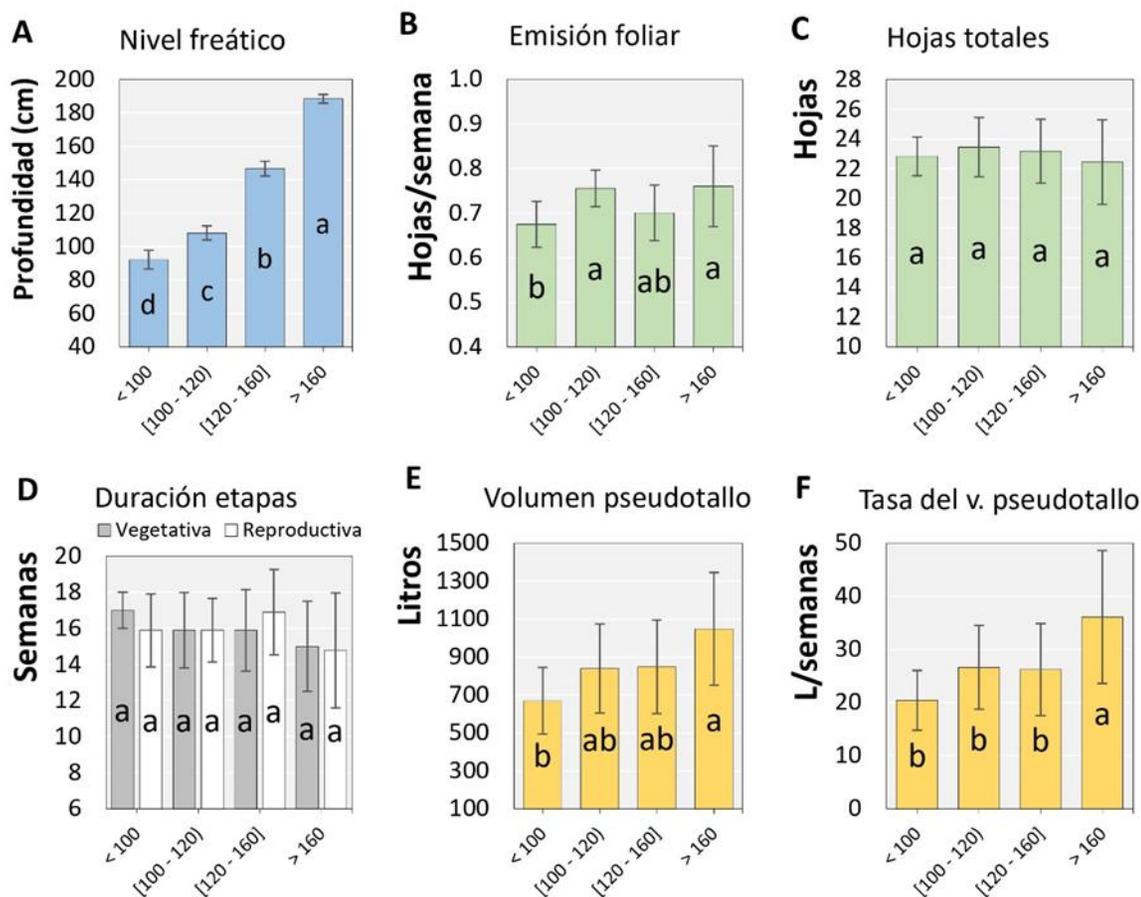


Figura 3. Nivel freático promedio y parámetros de crecimiento y desarrollo para la cohorte 1.

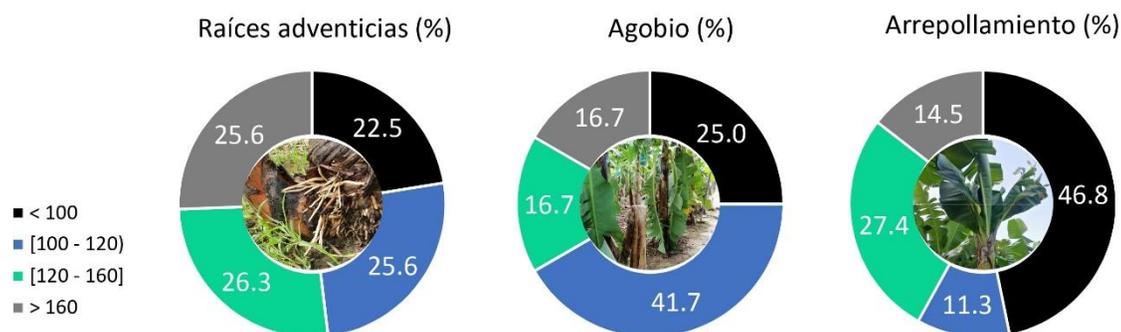


Figura 4. proporción de la expresión de raíces adventicias, agobio y arrollamiento.

CONCLUSIONES

La superficialidad del nivel freático afecta el crecimiento de la planta de banano y puede desencadenar expresiones del estrés que afectan su normal desarrollo.

REFERENCIAS

1. Muñoz-Ruiz, C., & León-Quirós, J. R. (2016). El rol del nivel freático en el rendimiento del banano (Musa AAA) clon gran enano. *Revista Tecnología En Marcha*, 15(3), Pág. 18–24. Recuperado a partir de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2810
2. Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Saxton, K. E. (1983). Estimation of Soil Water Properties. *Trans. ASAE*, 25, 1316–1320 & 1328.
3. Salazar, C. (2012). El drenaje agrícola en el cultivo del banano (Aplicado a las zonas bananeras de Colombia). editorial académica española.
4. Sancho, H. (1993). Response of the banana (Chon Valery) to three drainage conditions. *CORBANA*.
5. Teoh, E.Y.; Teo, C.H.; Baharum, N.A.; Pua, T.-L.; Tan, B.C. (2022). Waterlogging Stress Induces Antioxidant Defense Responses, Aerenchyma Formation and Alters Metabolisms of Banana Plants. *Plants*, 11, 2052. <https://doi.org/10.3390/plants11152052>

Actividad fotoquímica y rendimiento del plátano (*Musa AAB*) en función de niveles de hidrogel y materiales de siembra

Galo Cedeño García^{1-2*}, Ramón Jaimez Arrellano³, Daniel Cayón Salinas⁴, Agustín Merino García⁵

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Ingeniería Agrícola, Calceta, Ecuador.

²Programa de Doctorado en Agricultura y Medio Ambiente Para el Desarrollo, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España.

³Departamento de Ciencias Agronómicas, Universidad Técnica de Manabí, Lodana, Manabí, Ecuador.

⁴Departamento de Ciencias Agrícolas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

⁵Universidad de Santiago de Compostela, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ciencias del suelo y Química Agrícola, Lugo, España.

*Autor de

Correspondencia:

Galo Cedeño García
gcedeno@espam.edu.ec

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Riego y Drenaje

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Cedeño GG, Jaimez AR,
Cayón SD y Merino GA.
2024. Actividad
fotoquímica y rendimiento
del plátano (*Musa AAB*) en
función de niveles de
hidrogel y materiales de
siembra. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
72
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2472](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2472)

RESUMEN

Se evaluaron tratamientos factoriales de cuatro niveles de hidrogel (25, 50, 75 y 100 g planta⁻¹) y dos materiales de siembra (cormos y plántulas de vivero), con dos tratamientos control con cormos y plántulas con riego. Con el uso de hidrogel, la humedad del suelo se mantuvo en rangos de capacidad de campo hasta 60 días. La actividad fotoquímica del PSII (Φ_{PSII} , F_v/F_m y ETR) se mantuvieron en niveles adecuados para garantizar una buena actividad fotosintética y no provocar fotoinhibición, aunque con riego la actividad fotoquímica fue mayor. El rendimiento del plátano en secano fue potenciado por el hidrogel, y por tanto se puede sembrar de manera anticipada a la temporada lluviosa.

Palabras clave: *Musa AAB*, Hidrogel, Tipo de semilla, Actividad fotoquímica, Productividad, agua.

ABSTRACT

Factorial treatments of four levels of hydrogel (25, 50, 75 and 100 g plant⁻¹) and two planting materials (corms and nursery seedlings) were evaluated, with two control treatments with corms and seedlings with irrigation. With the use of hydrogel, soil moisture was maintained within field capacity ranges for up to 60 days. The photochemical activity of PSII (Φ_{PSII} , F_v/F_m and ETR) were maintained at adequate levels to guarantee good photosynthetic activity and not cause photoinhibition, although with irrigation the photochemical activity was higher. The yield of the banana in dry land was enhanced by the hydrogel, and therefore it can be planted in advance of the rainy season.

Keywords: *Musa AAB*, Hydrogel, Seed type, photochemical activity, Productivity, water.



INTRODUCCIÓN

Manabí es la provincia con mayor superficie de plátano en Ecuador, donde más del 90% de la agricultura es de secano (INEC, 2022). En este escenario, la productividad del plátano se ve seriamente afectada por estrés hídrico, provocado por una extensa temporada seca que comienza en mayo y se prolonga hasta finales de diciembre. Por el contrario, la temporada lluviosa es corta y se extiende desde enero a abril, periodo en el cual se concentran el 83% de las precipitaciones anuales (Pérez et al., 2018). Esta situación, obliga a que los agricultores siembren plátano con el inicio de las lluvias (enero), provocando que el cultivo solo tenga humedad disponible en el suelo hasta mayo, por lo que, a partir de junio con el inicio de la época seca, las plantas ralentizan su crecimiento y la cosecha se produce a finales de diciembre, coincidiendo con la bajada de los precios en el mercado.

De acuerdo a trabajos previos, el plátano requiere en promedio 150 mm mensuales de precipitación para satisfacer sus necesidades hídricas, y en épocas donde la precipitación o la cantidad de agua almacenada en el suelo sean inferiores a 5 mm día⁻¹, es necesario aplicar riego complementario (Cayón, 2004). En este contexto, las precipitaciones y la humedad remanente del suelo, no serían suficientes para satisfacer las necesidades hídricas totales del cultivo de plátano en gran parte de Manabí, y al no haber infraestructura de riego suficiente, el potencial productivo disminuye significativamente por el déficit hídrico, que de acuerdo a estudios previos, afecta la tasa fotosintética debido principalmente al cierre estomático (Cayón, 2004; Santos et al., 2018).

Por lo anterior, es importante buscar alternativas tecnológicas, que contribuyan a retener mayor humedad en el suelo, mantener la actividad fotosintética y potenciar la productividad del plátano en secano. Una alternativa es el uso de hidrogeles, que son polímeros superabsorbentes con matrices tridimensionales, constituidas por polímeros hidrófilos lineales o ramificados, capaces de hidratarse y retener gran cantidad de agua dentro de su matriz, que una vez mezclados con el suelo, facilitan el crecimiento de las plantas al brindar un ambiente rico en agua y nutrientes, que serán liberados lentamente para un aprovechamiento más prolongado y eficiente, al reducirse también la pérdida de agua del suelo por evaporación (Rizwan et al., 2021). El uso de hidrogeles se ha entendido a varios cultivos hortícolas y frutales en ambientes áridos y semiáridos, pero en plátano no existen experiencias previas de su efectividad sobre la actividad fotoquímica y su productividad, razón por la cual el objetivo de la investigación fue evaluar la actividad fotoquímica y rendimiento del plátano en función de niveles de hidrogel y materiales de siembra.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló desde septiembre de 2022 a octubre de 2023, en el valle del río Carrizal en Calceta, Manabí, Ecuador. Se evaluaron tratamientos factoriales de cuatro niveles de hidrogel (25, 50, 75 y 100 g planta⁻¹) y dos materiales de siembra (cormos de entre 2 a 3 kg y plántulas de vivero con ocho semanas de edad), más dos tratamientos testigos conformados por cormos y plántulas con riego. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial A x B + 2, con 10 tratamientos, tres repeticiones y 30 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó de parcelas de 36 plantas con distanciamiento de 2,5 x 2,5 m entre plantas e hileras. La siembra se realizó en hoyos de 0,40 x 0,40 m de diámetro y profundidad. Cada dosis de hidrogel fue mezclada homogéneamente con el sustrato sacado del hoyo y 50 g de un fertilizante compuesto, para seguidamente realizar la siembra de plántulas y cormos. En cada unidad experimental se seleccionaron dos plantas, a las cuales se les colocó sensores de humedad modelo 200SS5 entre 0.20 y 0.40 m de profundidad, con la finalidad de monitorear la humedad del suelo retenida por los diferentes tratamientos de hidrogel.

También en las dos plantas seleccionadas del centro de la parcela, se registró la actividad fotoquímica del fotosistema II, como rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) y tasa de transporte electrónico (ETR). Estas mediciones se realizaron con el Fluorómetro - OS1p, en la mañana (08:30–10:30 horas), medio día (11:00–13:00 horas) y tarde (15:00–17:00 horas) en el tercio medio de una hoja sana y completamente expandida, siguiendo la metodología descrita por Senevirathna et al. (2008). La medición de la F_v/F_m se obtuvo de hojas aclimatadas a oscuridad por 30 minutos, para lo cual se utilizaron clips de adaptación a oscuridad. Las evaluaciones de actividad fotoquímica se realizaron cada 30 días, a partir del 30 de septiembre hasta el 30 de diciembre de 2022, cuando culminó la temporada seca. Luego en enero de 2023 con la llegada de las lluvias, se realizó la fertilización y se dejó llegar las plantas a cosecha, con la finalidad de evaluar el rendimiento del cultivo. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de humedad del suelo entre 0,20 y 0,40 m de profundidad registrados con sensores, mostraron que todos los niveles de hidrogel logran mantener la humedad del suelo dentro de los rangos de capacidad de campo (0 a 180 centibares). Las

plántulas de vivero resultaron ser más sensibles a la pérdida de humedad, dado que a partir de los 30 días después de la siembra (semana 4), comenzaron a manifestar amarillamiento en hojas bajas e inicio de marchitez, a pesar de que aun la humedad se mantenía en rangos de capacidad de campo (entre 60 a 100 centibares), por lo que fue necesario volver a regar. Por el contrario, las plantas procedentes de cormos, lograron soportar hasta 60 días después de la siembra sin riego (semana 8), tiempo en el cual también manifestaron amarillamiento de hojas bajas e indicios de marchitez, por lo que hubo que suplementar riego para rehidratar el hidrogel.

Lo anterior puede deberse a que las plántulas de vivero no cuentan con un cormo desarrollado que aporte reservas de agua y nutrientes, además de que ya vienen con un sistema foliar y radicular desarrollado, que lógicamente presentará una mayor tasa de consumo de agua vía absorción y transpiración. Por el contrario, una planta originada por cormo cuenta con reservas de agua y nutrientes, que puede sustentar el crecimiento inicial de la planta sin mayor consumo de agua.

La actividad fotoquímica del PSII (Φ_{PSII} , F_v/F_m y ETR) no fue influenciada significativamente ($p > 0,05$) por la interacción dosis de hidrogel x materiales de siembra, pero si por los factores principales dosis de hidrogel y materiales de siembra evaluados ($p < 0,05$). En todos los casos el tratamiento con riego logró mejores respuestas fisiológicas con relación a los tratamientos con hidrogel (Figura 1). Para el caso del rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}) en función de las dosis de hidrogel, los valores promedios oscilaron entre 0,62 a 0,73 en horas de la mañana, al medio día se presentó una caída de entre 0,45 a 0,56 y con una recuperación hacia la tarde de entre 0,65 a 0,75, donde los valores más bajos corresponden a los tratamientos de hidrogel y los más altos al tratamiento con riego (Figura 1A). Comportamiento similar se presentó entre materiales de siembra, donde los tratamientos con riego lograron mayores promedios de Φ_{PSII} a lo largo del día, mientras que para los tratamientos de hidrogel se evidenció diferencias entre los materiales de siembra, con mejor respuesta por parte de las plantas originadas por cormos (Figura 1B).

Los resultados de Φ_{PSII} obtenidos, fluctúan dentro de los rangos considerados normales por Dongsansuk y Neuner (2013) para *Musa sp.*, a rangos de temperaturas de la hoja entre 22,5 a 37,5. La caída del Φ_{PSII} al medio día, que fue más notoria en los tratamientos con hidrogel, puede explicarse por la mayor temperatura y cierre estomático que sucede normalmente en esos horarios por el desequilibrio entre absorción y transpiración de agua, lo cual disminuye el rendimiento cuántico de asimilación del CO_2 , que es proporcional al Φ_{PSII} en condiciones no foto-respiratorias (Genty et al., 1989).

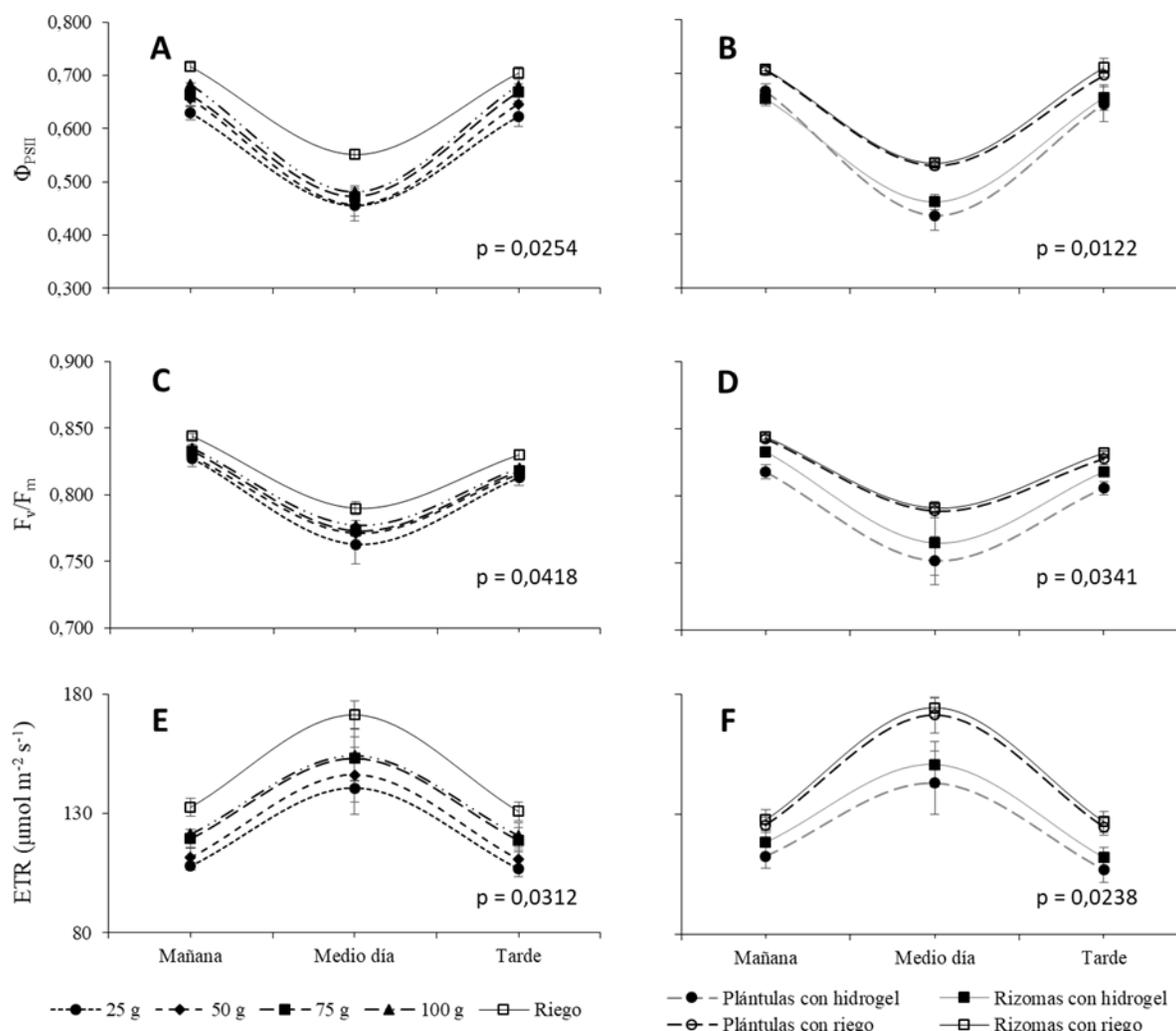


Figura 1. Rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}), eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) y tasa de transporte electrónico (ETR), en función de dosis de hidrogel (A) y materiales de siembra (B).

La eficiencia cuántica máxima (F_v/F_m) mostró un comportamiento similar al descrito para el rendimiento cuántico efectivo (Φ_{PSII}) a lo largo del día, con promedios mayores para el tratamiento con riego y menores para los de hidrogel. En todo caso los promedios de la mañana se mantuvieron cercanos a 0,80 para tratamientos de hidrogel y superior para el riego, al medio día se dio una caída de hasta 0,75 y una recuperación hacia la tarde con promedios cercanos a 0,80 para los tratamientos de hidrogel y superiores a 0,80 para tratamientos de riego (Figuras 1C y 1D). Estos resultados indican que el hidrogel es capaz de mantener valores de F_v/F_m en rangos suficientemente elevados como para no caer en estado de fotoinhibición y pérdida de función del

aparato fotosintético. Los valores de F_v/F_m alcanzados se encuentran dentro de los rangos descritos por Ramos et al. (2019), quienes reportaron valores de F_v/F_m mayores a 0,80 cuando se riega al 65 y 100% de la capacidad de campo, pero disminuyen a medida que las plantas crecen y el suelo pierde humedad.

La tasa transporte electrónico (ETR) fue mayor en los tratamientos de riego, con relación a los tratamientos de hidrogel, independientemente de las dosis y los materiales de siembra. La ETR fue menor en todos los tratamientos en horas de la mañana y la tarde, pero se incrementó al medio día, lo cual se relaciona con la variación en la intensidad de la radiación a lo largo del día (Figuras 1E y 1F). Sin embargo, en los tratamientos de hidrogel los valores de ETR se mantienen en niveles cercanos a los reportados por Siles et al. (2013) para banano en condiciones de campo, que van desde 95 con baja radiación a 163 en condiciones de alta radiación, por lo que se concluye que el hidrogel proporciona la suficiente humedad como para no provocar un estrés intenso y permitir la regeneración de la RuBP.

Los tratamientos evaluados influyeron de manera significativa el rendimiento del plátano ($p < 0,05$), donde los tratamientos de riego superaron estadísticamente a los tratamientos de hidrogel, independientemente de las dosis y los materiales de siembra. En promedio los tratamientos de riego superaron al promedio de rendimiento de los tratamientos con hidrogel en un 13,17%, independientemente de los materiales de siembra (Cuadro 1). No hubo diferencias estadísticas entre dosis de hidrogel ni entre materiales de siembra bajo el efecto del hidrogel, lo cual indica que el plátano a pesar de no haber tenido el 100% de la capacidad de campo en el suelo, desde septiembre a diciembre de 2022, fue capaz de recuperar su potencial productivo, durante la época lluviosa de 2023, lo cual evidencia una amplia plasticidad fisiológica del cultivo de plátano. En este contexto, se ha reportado que el plátano al ser portador del genoma "B" procedente de *Musa balbisiana*. muestra cierta superioridad sobre aquellos cultivares que solo presentan el genoma "A" de *Musa acuminata*, con una mayor expresión de genes relacionados con la tolerancia a sequía, mayor contenido relativo de agua, longitud de raíces primarias y peso del racimo, así como mejores tasas de supervivencia y fotosíntesis (Santos et al., 2018).

CONCLUSIONES

Se concluye, que el uso de hidrogel permite sembrar plátano con dos meses de anticipación a la época de lluvias, siempre y cuando se utilice cormos o rizomas como material de siembra, mientras que si se utiliza plantas propagadas en vivero, se puede

anticipar la siembra hasta 30 días antes de las lluvias. El uso de 25 g planta⁻¹ de hidrogel, puede ser suficiente bajo las condiciones donde se desarrolló el experimento, para mantener la humedad del suelo en rangos de capacidad de campo, y hacer posible la siembra anticipada de plátano, sin que se vea mayormente afectada la actividad fotoquímica y el rendimiento del cultivo.

Cuadro 1. Peso neto de racimo y rendimiento en función de dosis de hidrogel y notariales de siembra.

Tratamientos	Peso neto de racimo (kg)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Dosis de hidrogel		
25 g planta ⁻¹	11,72 a ^{1/}	18,75 a
50 g planta ⁻¹	11,88 a	19,00 a
75 g planta ⁻¹	12,10 a	19,37 a
100 g planta ⁻¹	12,10 a	19,36 a
Riego	13,76 b	22,02 b
Materiales de siembra		
Plántula con hidrogel	11,73 a	18,77 a
Rizoma con hidrogel	12,17 a	19,47 a
Plántula con riego	13,30 b	21,28 b
Rizoma con riego	14,22 b	22,75 b

^{1/} Separación de medias según la prueba de Tukey al 95% de probabilidad

REFERENCIAS

1. Cayón, D. 2004. Ecofisiología y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds). En: XVI REUNIÓN INTERNACIONAL ACORBAT 2004. Oaxaca, México.
2. Genty, B, Briantais, J. & Baker, N. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. Bioch and Bioph Acta. 990: 87-92.
3. Dongsansuk, A., & Neuner, G. 2013. Temperature optimum, stress temperature range and thermal limits of quantum yield of PSII in tropical versus temperate plants. Trends in photochemistry & photobiology, 15, 77-87.
4. INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (2022). Módulo de Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. Boletín técnico MOD_AMB_ESPAC_2022_04. Quito, Ecuador. 11 p.
5. Senevirathna, A., Stirling, C., Rodrigo, V. 2008. Acclimation of photosynthesis and growth of banana (musa sp.) to natural shade in the humid tropics. Expl Agric. 44: 301-312. <https://doi.org/10.1017/S0014479708006364>.
6. Siles, P., Bustamante, O., Valdivia, E., Burkhardt, J. and Staver, C. (2013). Photosynthetic performance of banana ('gros michel', aaa) under a natural shade gradient. Acta Hort. 986, 71-77. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.986.5>

7. Santos, A., Amorim, A., Ferreira, C., & Pirovani, C. 2018. Water stress in *Musa* spp.: A systematic review. PLoS ONE 13(12): e0208052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208052>.
8. Pérez, R., Hinostroza, M., & Manzaba, J. 2018. The Irrigation Regime for Crops in Manabí, Ecuador: Climatological Study. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 27(1): 5-12.
9. Ramos, L., Meneses, P., Reis, F., da Silva, B., & Reis, I. 2019. Ecophysiology of banana seedlings grown in different water regimes. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2): 440-447.
10. Rizwan, M.; Gilani, S.; Durani, A.; Naseem, S. 2021. Materials diversity of hydrogel: Synthesis, polymerization process and soil conditioning properties in agricultural field. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.03.007>

Efecto de coadyuvante a base de almidón de yuca en los procesos de maduración y pudrición de banano Cavendish

Juan Diego Diaz-Ochoa¹, José Felipe Bejarano¹, Andrés Mauricio Pinzón-Núñez², Sebastián Zapata-Henao²,
Mónica Patricia David-González², Gloria Marcela Pérez-Ochoa², Ariel Mauricio Vaca-Bohorquez¹, Felipe
Salcedo-Galán^{1*}

¹Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de los Andes, Bogotá 111711, Colombia. ²Centro de Investigaciones del Banano CENIBANANO-AUGURA, Carepa-Antioquia 057850, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Felipe Salcedo-Galán
fsalced@uniandes.edu.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Tecnología de Postcosecha

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Diaz-Ochoa JD, Bejarano
JF, Pinzón-Núñez AM,
Zapata-Henao S, David-
González MP, Pérez-Ochoa
GM, Vaca-Bohorquez AM
y Salcedo-Galán F. 2024.

Efecto de coadyuvante a
base de almidón de yuca en
los procesos de maduración
y pudrición de banano

Cavendish. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*

1(1): 73

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2473

RESUMEN

El banano es una de las frutas tropicales más comercializadas a nivel mundial, sin embargo, las enfermedades fúngicas en postcosecha, como la pudrición de la corona, causan pérdidas importantes a los exportadores. En ese contexto, desarrollamos un recubrimiento a base de almidón de yuca que permite la incorporación de agentes antifúngicos, como también, la prolongación de la vida verde de la fruta. Estas formulaciones mostraron un efecto antifúngico en condiciones *in vitro* e *in vivo* reduciendo en un 60% la concentración de los fungicidas tradicionales para el control de la enfermedad y a su vez, prolongando la vida verde de la fruta.

Palabras clave: recubrimiento, postcosecha, manejo, vida verde, antifúngico.

ABSTRACT

Banana is one of the most traded tropical fruits worldwide, however, postharvest fungal diseases, such as crown rot, cause significant losses to exporters. In this context, we developed starch-based water-soluble coatings that regulate fruit ripening and incorporate antifungal agents. These formulations showed an antifungal effect *in vitro* and *in vivo* conditions, reducing the concentration of traditional fungicides by 60% to control the disease and, in turn, prolonging the green life of the fruit.

Keywords: coating, postharvest, management, green life, antifungal.



INTRODUCCIÓN

El banano es una de las frutas con mayor importancia económica y alimenticia en el mundo. Esta fruta tropical se encuentra entre las más producidas, consumidas y comercializadas globalmente, siendo la variedad Cavendish (*Musa* AAA) la de mayor importancia económica, pues representa cerca de la mitad del total de exportaciones globales de banano, con un promedio anual de 50 millones de toneladas por año (FAO, 2022). En el 2021, Colombia se ubicó como el quinto mayor exportador de banano generando 892 millones de dólares (AUGURA, 2022).

Según Odetayo *et al.* (2020), las principales limitaciones en el rendimiento productivo del cultivo de banano son las enfermedades fitosanitarias en precosecha; sin embargo, durante la comercialización, el fruto se ve afectado por factores bióticos y abióticos, altas precipitaciones y el desarrollo inadecuado en las actividades periódicas como el transporte, empaque y almacenamiento, causando pérdidas que varían entre el 10% y el 80%. En ese sentido, la pudrición de corona es conocida como una de las enfermedades postcosecha que ha generado mayores pérdidas económicas, llegando hasta el 30%, lo anterior se atribuye a los agentes causales de la enfermedad *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. (Lassois y de Bellaire, 2014). El tratamiento con fungicidas y las buenas prácticas agrícolas (BPA) han sido efectivos, sin embargo, estas moléculas cada vez son más reguladas por su impacto sanitario y medioambiental, como es el caso del Imazalil, Thiabendazol y Azoxystrobin que desde el 2020 sus LMR (límite máximo residual) disminuyeron a 0,01, 6 y 2 ppm respectivamente para la unión europea (Benavides y Yoshioka, 2022), destino del 70% de exportaciones del banano colombiano (AUGURA, 2022).

En ese contexto, los recubrimientos funcionales, son una alternativa como tratamiento postcosecha, ya que además de sus resultados en el retardo de la maduración mediante su efecto barrera capaz de regular gases, humedad y aportar propiedades mecánicas, también permiten la incorporación de agentes activos antioxidantes y/o antimicrobianos (Thakur *et al.*, 2019; Jodhani y Nataraj, 2021; Lundgren *et al.*, 2021; Odetayo *et al.*, 2022). Bajo la misma filosofía de ofrecer una alternativa integradora y de baja toxicidad, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de un recubrimiento de almidón de yuca modificado, capaz de incorporar agentes activos, en busca de la reducción del uso de fungicidas y la prolongación de la vida útil de la fruta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Para el ensayo se utilizaron racimos de banano (*Musa* AAA) Cavendish en etapa de cosecha de 11 semanas. Los racimos fueron obtenidos de la finca Trapiche ubicada en la región del Urabá Antioqueño.

Preparación de suspensión fúngica. Las cepas de los hongos patógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., obtenidas del cepario de Augura-Cenibanano fueron activadas en placa de Petri en Agar Papa Dextrosa (PDA) con 150 ppm de sulfato de estreptomicina (SE) y dispuestas a una temperatura de 27°C durante 7 días. Posteriormente, se procedió a preparar las suspensiones fúngicas mediante un hematocimetro (Neubauer, Alemania) a una concentración de 5×10^5 conidios/mL para obtener una suspensión final de inoculación de 1×10^6 conidios/mL.

Preparación del coadyuvante. Se prepararon dos formulaciones, matriz de almidón modificado (MET1) y matriz más extracto vegetal (MET2). Las formulaciones MET fueron preparadas a una concentración de 0.016 p/v. Los fungicidas se manejaron a dos concentraciones reducidas: 40 % y 20 % respecto a la concentración de la mezcla usada tradicionalmente (thiabendazol 396 ppm + azoxystrobin 300 ppm) (Cuadro 1).

Evaluación *in vitro* contra agentes patógenos. El experimento se realizó por triplicado tomando como unidad experimental una caja de petri. La suspensión de conidios diluida 3 veces (1×10^3 conidios/mL) se utilizó como inóculo, en una relación 1:1 (v/v) entre la formulación MET y el inóculo, siendo este 100µL. Seguidamente, se incubaron por 48 horas y se realizó el conteo de colonias.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados *in vitro*.

Id	Tratamientos	Inoculación	Concentración de fungicidas (respecto al tradicional)	MET	Agentes Activos
T1	Control +	X	100%	-	-
T2	Control reducido	X	40%	-	-
T3	Control -	X	-	-	-
T4	MET1+2.5R	X	40%	X	-
T5	MET1+5R	X	20%	X	-
T6	MET2	X	-	X	X
T7	MET2+2.5R	X	40%	X	X
T8	MET2+5R	X	20%	X	X

Evaluación *in situ*. Basándose en los resultados *in vitro*, para la evaluación *in situ* se usaron las formulaciones de MET1 y MET2 con una concentración reducida al 40 % de fungicidas. Las variables de respuesta manejadas fueron la severidad de pudrición de corona, la firmeza de la cáscara y los sólidos solubles totales (SST). Se consideraron variables controladas las condiciones de la cava (Humedad relativa y Temperatura) y la presión de patógenos. Por otra parte, la exposición al etileno se consideró como variable no controlada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados *in situ*.

Id	Tratamientos	Inoculación	Concentración de fungicidas (respecto al tradicional)	MET	Agentes Activos
T1	Control +	-	100%	-	-
T2	Control -	X	-	-	-
T3	MET1	-	40%	X	-
T4	MET1+I	X	40%	X	-
T5	MET2	-	40%	X	X
T6	MET2+I	X	40%	X	X
T7	BC-1000	-	-	-	-
T8	BC-1000+I	X	-	-	-

La fruta se recibió después del proceso de desmane y deslatex, posteriormente en la misma finca se aplicaron los tratamientos correspondientes: inoculación con 200 μ L de la suspensión de conidios de patógenos con concentración de 1x10⁶ conidios/mL; aplicación mediante aspersion de 150 mL de tratamiento por caja; empaquetado y traslado a la cava. Una vez en la cava se mantuvo en condiciones controladas de 15 \pm 1 °C y 90 % de humedad relativa durante 20 días, después de lo cual se procedió a realizar la inducción de maduración mediante aplicación de etileno durante 5 días hasta las mediciones de las variables de respuesta.

Análisis estadístico. El análisis de los datos se realizó haciendo uso del software libre R (versión 4.2.2) (R Core Team, 2022). Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad mediante los test de Shapiro-Wilk y Bartlett de la librería stats. El análisis de firmeza se basó en un ANOVA ONE-WAY, seguido del test para comparaciones múltiples LSD (diferencia mínima significativa) de Fisher, igualmente presente en la librería stats. Dada la no normalidad de las otras variables fueron analizadas mediante el test no paramétrico Kruskal-Wallis de la librería agricolae. En todas las pruebas estadísticas se mantuvo una confianza del 95 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación *in vitro*. Las unidades formadoras de colonias de *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., fueron contadas pasadas las 48 horas de incubación, obteniendo los resultados evidenciados en la figura 1. Los tratamientos T2, T5, T6 Y T8, no presentaron diferencias significativas cuando fueron comparadas con el control negativo (T3). Por el contrario, las formulaciones MET1 Y MET2 más la concentración al 40 % de fungicidas, T4 y T7 respectivamente, presentan en promedio una respuesta similar al control positivo. Sin embargo, el T7 no se diferencia estadísticamente del control negativo (T3). De igual manera, se observa que al incorporar los fungicidas a la misma concentración en formulaciones MET (al menos en MET1, tratamiento 4) se obtiene una mejor respuesta respecto a solo mezclarlos en agua (T2).

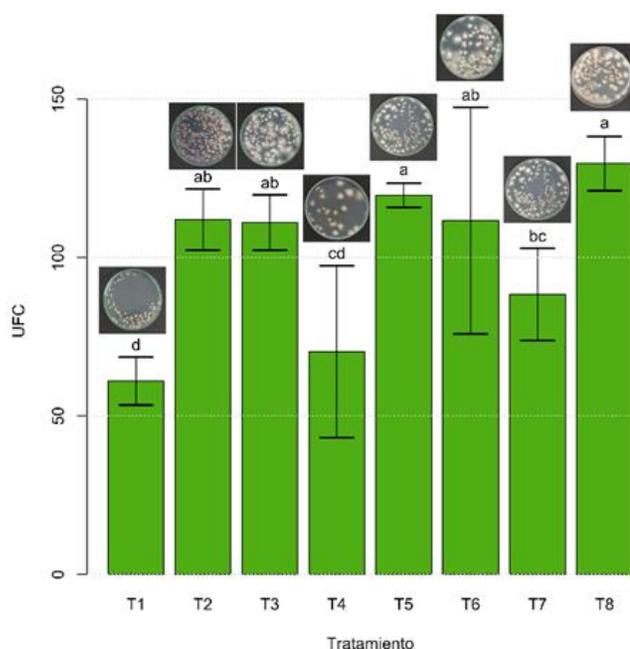


Figura 1. Número de colonias formadas (UFC) en cada tratamiento (los valores mostrados corresponden a la media \pm SD, n = 3; Letras diferentes representan diferencias significativas, p-value <0.01).

Evaluación *in situ*. Las evaluaciones in situ se realizaron a los 25 días posteriores al ingreso en cava, con aplicación de etileno para inducción de maduración a los 20 días figura 2. De forma consistente con lo obtenido *in vitro*, los controles presentaron efectos esperados significativamente diferentes, con mayor grado de severidad en el

control negativo (75 % en promedio) y baja en el positivo (<10 %). Toda la fruta tratada con coadyuvante MET más una concentración de fungicidas al 40 % presento el mismo efecto que el control positivo, el cual se mantiene aún con en la fruta inoculada (Figura 3).

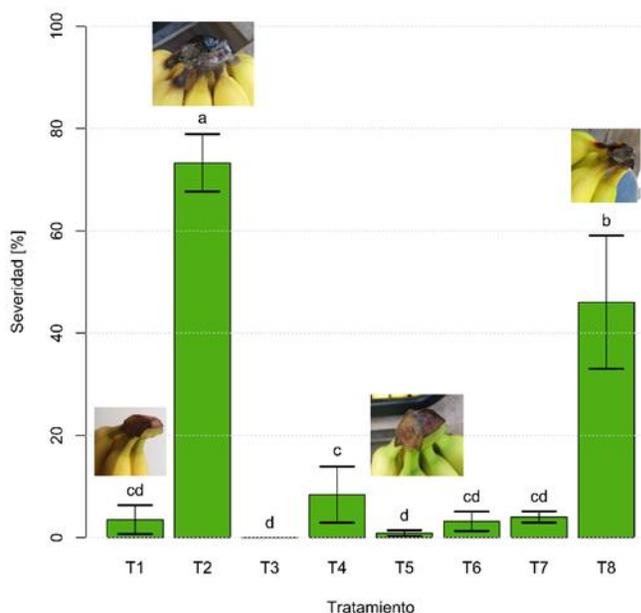


Figura 2. Porcentaje de severidad de pudrición de corona. Las imágenes corresponden a la representación de una pseudorepetición o cluster de banano (Los valores corresponden a la media \pm SD, n = 5; Letras diferentes representan diferencias significativas, p-value <0.01).

Por otra parte, en cuanto a las pruebas de sólidos solubles totales (SST), solo las formulaciones MET presentan un contenido de SST significativamente menor frente al control negativo (T2). Sin embargo, al comparar con el tratamiento convencional (T1) el único efecto significativamente diferente es MET2 inoculado con la suspensión fúngica (T6), evidenciando °Brix más bajos que el resto de los tratamientos. Esta respuesta no se evidenció en ninguna de las otras formulaciones usadas, pues no hubo diferencia de °Brix entre la fruta con o sin presión de patógenos (Figura 3A). Por el contrario, para la evaluación de firmeza, se observa que las frutas inoculadas artificialmente con la suspensión fúngica, genera una disminución significativa en firmeza, evidenciado cuando se comparan frente al control positivo (T1) (Figura 3B).

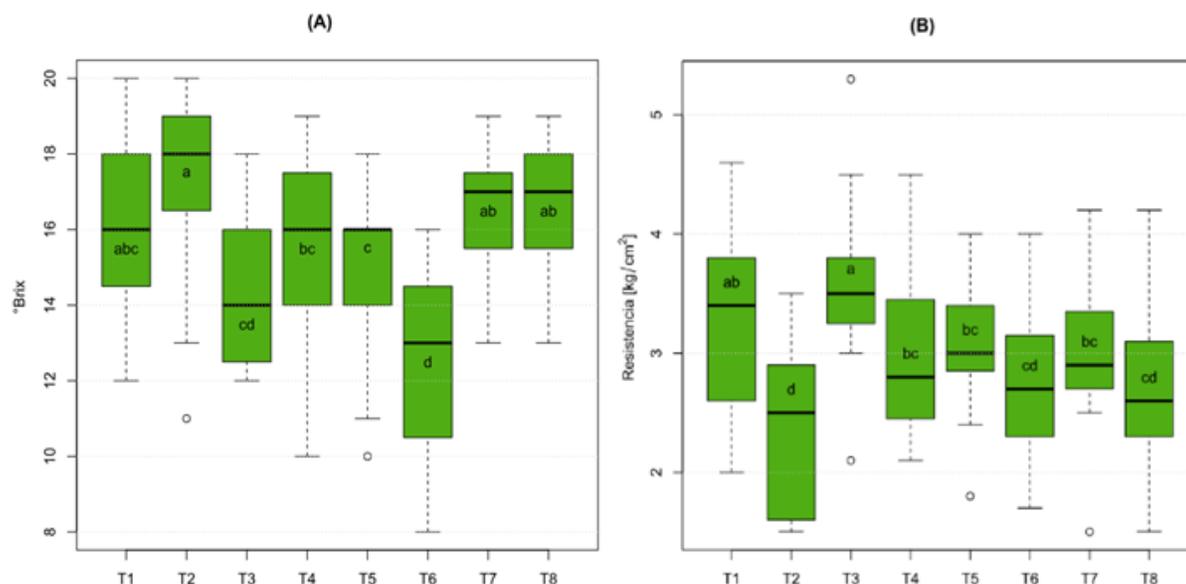


Figura 3. Evaluación in situ de Solidos Solubles Totales (SST/°Brix) y Firmeza. **A.** Solidos Solubles Totales (SST/°Brix), **B.** Firmeza. (n=15, Letras diferentes representan diferencias significativas, p-value <0.01).

Los SST guardan una relación directa con el grado de maduración del banano, caso contrario acontece con la firmeza de la fruta. En ese sentido, Los SST representados por °Brix aumentan con la maduración debido a que las reservas de almidón de la fruta se degradan en azúcares solubles, y la firmeza disminuye principalmente por la pérdida de agua y la actividad de enzimas asociadas a la maduración que modifican los polisacáridos de la pared celular y generan un ablandamiento de la cáscara (Yahia, 2018). En ese contexto, los resultados obtenidos en el presente trabajo presentan variaciones considerables, atribuibles posiblemente a la exposición no homogénea al etileno, es evidente una tendencia de la fruta tratada con formulaciones MET a tener un retardo en la maduración.

CONCLUSIONES

La inclusión de los recubrimientos MET a base de almidón modificado como coadyuvantes postcosecha presentan una alternativa que permite la reducción de fungicidas mientras aportan un efecto aparente de retardo de la maduración. En esta evaluación se evidenció que la incorporación de thiabendazol y azoxystrobin reducidos en la matriz MET permite controlar la enfermedad pudrición de corona causada por *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., en condiciones simuladas de embarque, con un

efecto al tratamiento convencional. De igual manera, se evidenció una prolongación de la vida verde de la fruta según los resultados de SST, firmeza y grado de maduración observado. Efecto no presente en el tratamiento convencional ni en el orgánico.

REFERENCIAS

1. AUGURA. (2022). Coyuntura Bananera 2021. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA-2021.pdf>
2. Alvindia, D. G. (2012). Revisiting hot water treatments in controlling crown rot of banana cv. Buñgulan. *Crop Protection*, 33, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.09.023>
3. Benavides Matínez, Á., & Yoshioka Tamayo, I. C. (2022). ACTUALIDAD DE MOLÉCULAS DE SÍNTESIS QUÍMICA PARA USO EN EL CULTIVO DE BANANO.
4. E. M. Yahia. (2018). *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables*. Elsevier, 1-476. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04653-3>
5. Lassois, L., & Bellaire, L. D. L. de. (2014). *Crown Rot Disease of Bananas*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00003-X>
6. Jodhani, K. A., & Nataraj, M. (2021). Synergistic effect of Aloe gel (*Aloe vera* L.) and Lemon (*Citrus Limon* L.) peel extract edible coating on shelf life and quality of banana (*Musa* spp.). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(3), 2318-2328. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00822z>
7. Lundgren, G. A., et al. (2021). Antifungal effects of *Conyza bonariensis* (L.) Cronquist essential oil against pathogenic *Colletotrichum musae* and its incorporation in gum Arabic coating to reduce anthracnose development in banana during storage. *Journal of Applied Microbiology*, 00, 1. <https://doi.org/10.1111/jam.15244>
8. Odetayo, T., Sithole, L., Shezi, S., Nomngongo, P., Tesfay, S., & Ngobese, N. Z. (2022). Effect of nanoparticle-enriched coatings on the shelf life of Cavendish bananas. *Scientia Horticulturae*, 304, 111312. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111312>
9. R Core Team. (2022). R version 4.2.2 (Innocent and Trusting). R: The R Project for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>

Propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *In vitro* de harinas de bananos de cocción durante la maduración y el procesamiento

Jhon Larry Moreno^{1*}; Thierry Tran²; Dominique Dofour²

¹The Alliance of Bioversity International and the International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia; ²UMR Qualisud, CIRAD, Montpellier, France. QualiSud, Univ Montpellier, Avignon Université, CIRAD, Institut Agro, IRD, Université de La Réunion, Montpellier, France. UMR QualiSud, CIRAD, Cali, Colombia. The Alliance of Bioversity–International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia.

*Autor de

Correspondencia:

Jhon Larry Moreno
j.l.moreno@cgiar.org

Contribución:

Científica

Sección:

Tecnología de Postcosecha

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Moreno JL, Tran T y Dofour. 2024. Propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *In vitro* de harinas de bananos de cocción durante la maduración y el procesamiento. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 74
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2474>

RESUMEN

Se evaluó el efecto del estado de maduración (verde y maduro) y el procesamiento (fresco y cocido) sobre las propiedades fisicoquímica y digestibilidad *in vitro*, de cuatro variedades de bananos de cocción cultivadas en Colombia. Se presentó cambios significativos ($P < 0.0001$) en el contenido de almidón total, almidón resistente, almidón rápida y lentamente digestible, con la maduración y el procesamiento. La interacción (cultivar, estado de maduración y procesamiento), presentó un efecto altamente significativo ($P < 0.0001$) sobre las propiedades funcionales y las propiedades de empastamiento de las harinas. Por lo tanto, el conocimiento de las características fisicoquímicas y nutricionales de los bananos de cocción permite una mejor selección en función de la aplicación industrial.

Palabras clave: Banano de cocción, digestibilidad *in vitro*, propiedades nutricionales, Postcosecha.

ABSTRACT

The effect of ripening state (green and ripe) and processing (fresh and cooked) on the physicochemical properties and *in vitro* digestibility of four varieties of cooking bananas grown in Colombia was evaluated. There were significant changes ($P < 0.0001$) in the content of total starch, resistant starch, rapidly and slowly digestible starch, with ripening and processing. The interaction (cultivar, ripening state, and processing) presented a highly significant effect ($P < 0.0001$) on the functional properties and pasting properties of the flours. Therefore, knowledge of the physicochemical and nutritional characteristics of cooking bananas allows for better selection based on industrial application.

Keywords: Cooking banana, *in vitro* digestibility, nutritional properties, postharvest.



INTRODUCCIÓN

En Colombia las variedades de bananos de cocción son cultivadas tradicionalmente como parte de la economía de subsistencia por pequeños productores, con alta dispersión geográfica y generación de empleo rural (Moreno et al., 2021). Colombia se encuentra entre los principales productores de bananos de cocción en el mundo, con una producción de más de 2.3 millones de toneladas para el año 2022 (FAO, 2023). Los bananos de cocción son frutas climatéricas, su conservación es limitada a largo plazo, lo que provoca enormes pérdidas económicas. Una alternativa de conservación es transformar estos frutos en harinas, lo cual es conveniente para el transporte y almacenamiento, además, ayuda a conservar los componentes nutricionales presentes en el fruto. La harina de banano es considerada como un ingrediente alimentario funcional debido a su alto contenido de almidón resistente, fibra dietética y potasio, este tipo de harina presenta amplias perspectivas de aplicación (Campuzano et al., 2018), además, es libre de gluten, con un bajo costo de procesamiento y puede ser utilizada como un sustituto favorable de la harina de trigo, (Patiño-Rodríguez et al., 2019).

En Colombia existen numerosas variedades de bananos de cocción que no han sido exploradas por los investigadores. Los frutos frescos se descartan parcialmente debido a su uso limitado en la industria. Pocos estudios existen sobre la digestibilidad *in vitro* y caracterización de harinas extraídas de bananos de cocción cultivados en Colombia. Por lo tanto, el presente estudio se realizó con cuatro variedades de bananos de cocción, con el objetivo de evaluar sus propiedades fisicoquímicas y digestibilidad *in vitro*, durante la maduración y el procesamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se trabajó con 4 variedades de bananos de cocción como fueron: Dominico Hartón (AAB), Guineo (AAA), Guayabo (AAB) y Cachaco (ABB), cultivadas en Palmira, Colombia (Latitud 03° 28'22.9" norte, longitud 76° 19'20.7", altitud 994 m). Se cosecharon tres racimos por genotipo y se utilizaron los frutos de la mano 2 y 3. Los frutos se dividieron en dos etapas de maduración, según la escala de color descrita por Von Loesecke (1950). Estos índices se basan en el color de la cascara: 1=verde y 6=completamente amarilla (Maduro). Una vez cosechado el material se realizó el análisis de los frutos frescos y cocidos; los frutos se almacenaron en condiciones ambientales (25-28 °C, 56-62% de humedad relativa) para obtener el grado 6 de maduración. Para cada estado de maduración se tomaron 4 frutos y fueron

troceados en cilindros y cocinados durante 20 minutos a temperatura de ebullición. La pulpa fresca y la pulpa cocida fueron troceadas en pequeñas piezas y liofilizadas, luego se molieron con nitrógeno líquido y se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (harina). Las muestras fueron codificadas de la siguiente forma: en estado 1 y fresco (Verde+fresco), estado 1 y cocido (Verde+cocido), estado 6 y fresco (Maduro+fresco) y estado 6 y cocido (Maduro+cocido).

Caracterización fisicoquímica de las harinas. El contenido de materia seca se midió de acuerdo con el método oficial de la AOAC (2005). El contenido total de almidón se determinó según el método de Holm et al. (1986).

Propiedades de hidratación. La solubilidad y el poder de hinchamiento se determinaron mediante el método reportado por Aparicio-Sanguilán et al. (2005), con algunas modificaciones. Se usaron dispersiones de almidón al 1% (peso/peso) en base seca (0,28 g dispersos en 27,72 g de agua grado Milli-Q).

Propiedades de pegado. Los perfiles de viscosidad se obtuvieron con un analizador rápido de viscosidad modelo RVA-4 (Newport Scientific, Australia). Se dispersó harina (2,0 g en base seca) en una solución de nitrato de plata a 0,002 M (23 mL) para una suspensión del 8 % (Dufour et al., 2009).

Propiedades de digestibilidad *in vitro*. La digestibilidad *in vitro* de las harinas se determinó mediante el método de Englyst et al (1992). Las fracciones de almidones digeridos se expresaron en % de glucosa x 0,9. El almidón de rápida digestión (RDS) y el almidón de lenta digestión (SDS) se calcularon a partir de los valores medidos a los 20 y 120 minutos de hidrólisis, respectivamente. El almidón resistente (RS) se calculó utilizando la siguiente ecuación: $RS = TS - RDS - SDS$, donde TS es el contenido total de almidón.

Análisis estadístico. Todos los análisis se realizaron por duplicado. La comparación de medias se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA). Los análisis estadísticos se realizaron con el software JMP (SAS Institute Inc., Versión 13 2.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cuatro variedades presentaron contenidos iniciales de almidón significativamente diferentes ($P < 0,01$). En general el comportamiento del contenido de almidón fue de la siguiente forma: Verde+fresco > Verde+cocido > Maduro+Fresco >

Maduro+cocido (Cuadro 1). El contenido de almidón disminuyó durante la maduración, presentándose diferentes tasas de hidrólisis, este comportamiento también lo encontraron Moreno et al., (2021). Se presentó una disminución del contenido de almidón con la cocción, esto se debe a una parcial gelatinización de este polisacárido y/o la pérdida en el agua de cocción durante la ebullición. El cultivar (C), el estado de madurez (E), el procesamiento (P) y su interacción (CxExP) presentaron un efecto estadísticamente significativo (<0.0001) sobre el contenido de almidón (Cuadro 1), lo cual indica que los cultivares presentaron diferentes contenidos de almidón en estado verde, el grado de hidrólisis del almidón durante la maduración fue significativo; y la disminución del contenido de almidón difirió durante la maduración y la cocción.

Cuadro 1. Contenido de almidón total, fracciones de almidones, solubilidad y poder de hinchamiento de la harina de banana de cocción durante la maduración y el procesamiento.

Nombre local de cultivar	Estado de madurez	Procesamiento	Almidón total (% db)	Fracciones de almidón (% db)			Solubilidad (% db)	Poder de hinchamiento (g/g)
				ARD ¹	ALD ²	AR ³		
Dominico Hartón	Verde	Fresco	88.8	5.1	12.6	71.1	15.0	11.7
	Verde	Cocido	70.0	41.4	26.5	2.1	17.4	12.3
	Maduro	Fresco	43.4	4.3	9.9	29.2	55.7	15.2
	Maduro	Cocido	33.9	31.7	1.7	0.5	28.7	8.4
Cachaco	Verde	Fresco	69.9	5.8	11.8	52.3	11.5	8.9
	Verde	Cocido	61.0	48.0	10.5	2.4	26.1	16.9
	Maduro	Fresco	58.5	11.8	13.3	33.5	33.8	10.7
	Maduro	Cocido	41.0	39.8	0.8	0.4	44.5	14.0
Guayabo	Verde	Fresco	79.0	2.8	12.9	63.3	13.3	10.6
	Verde	Cocido	77.4	22.9	40.4	14.1	18.2	12.7
	Maduro	Fresco	55.0	0.9	16.4	37.6	43.2	10.6
	Maduro	Cocido	34.3	29.9	4.2	0.3	33.3	10.8
Guineo	Verde	Fresco	67.5	1.6	13.5	52.4	12.8	9.4
	Verde	Cocido	64.6	19.7	26.1	18.9	17.4	12.3
	Maduro	Fresco	23.2	4.4	13.2	5.6	76.5	15.6
	Maduro	Cocido	16.8	15.6	0.7	0.4	65.8	14.5
Fuente de variación (Probabilidad >F) de ANOVA								
Nombre local del cultivar (C)			<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Estado de madurez (E)			<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0055
Procesamiento (P)			<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0097	<0.0001
Interacción (CxExP)			0.0011	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0013

¹ = Almidón rápidamente digestible, ² = Almidón lentamente digestible, ³ = Almidón resistente.

Los bananos de cocción presentaron en estado verde altos contenidos de almidón, principalmente en forma de almidón resistente tipo 2 (RS2), que corresponde al almidón nativo crudo que es poco susceptible a la hidrólisis (González-Soto et al., 2007), con la etapa de maduración y la cocción se observó una disminución en el contenido de almidón resistente (AR). Dominico Harton (Verde+fresco) mostró mayor resistencia a la digestión en comparación con las otras muestras evaluadas. En general, la digestibilidad de las harinas (Maduro+cocido), aumentó significativamente ($p < 0.0001$). Por otro lado, las harinas Verde+cocido y Maduro+cocido presentaron mayores contenidos de almidón rápidamente digestible (ARD), esto indica que durante el proceso de cocción el almidón resistente se degrada parcial o totalmente. De hecho, estudios previos han demostrado que los tratamientos térmicos, reducen el AR y aumentan la concentración de almidón lentamente digestible (ALD) y ARD (Cahyana et al., 2019). El cultivar (C), el estado de madurez (E), el procesamiento (P) y su interacción (CxExP) presentaron un efecto altamente significativo ($p < 0.0001$) sobre el contenido de AR, ALD, ARD (Cuadro 1). La resistencia digestiva de la harina de bananos de cocción en estado verde se ha convertido en una de las propiedades importantes de interés para los investigadores. Con la creciente prevalencia de obesidad y diabetes, es necesario incentivar el consumo de harinas obtenidas de bananos de cocción, debido a su alto contenido de AR y ALD, proporcionando beneficios para la salud, controlando el nivel glucémico.

La solubilidad en agua se refiere a la cantidad de moléculas solubles lixiviadas de los gránulos de almidón presentes en las harinas. En general, las harinas obtenidas de Maduro+fresco y Maduro+cocido, presentaron mayores valores de solubilidad. Los menores valores de solubilidad fueron para las harinas Verde+Fresco, este comportamiento podría deberse a la estructura semicristalina de los gránulos de almidón, al mayor contenido de amilosa y los enlaces de hidrógeno formados entre los grupos hidroxilo dentro de las moléculas de almidón, lo que lo hace más difícil que la amilosa escape de los gránulos (Kumar et al., 2019). Las harinas Verde+Fresco, presentaron los menores valores de poder de hinchamiento. Los enlaces de hidrógeno intermoleculares en las zonas amorfas de los gránulos de almidón se pueden romper con el aumento de la temperatura, esto promueve el rápido hinchamiento del almidón (Kumar et al., 2019). La interacción (CxEXP), presentó un efecto altamente significativo sobre la solubilidad y poder hinchamiento. Estas propiedades no solo están relacionadas con la estructura de los gránulos del almidón y el contenido de amilosa, sino que también se vio afectada por otros componentes no amiláceos y su interacción.

Las propiedades de pegado de las harinas fueron significativamente ($P < 0.001$) influenciados por el cultivar, el grado de maduración y el procesamiento, así mismo la interacción entre los factores. Se observaron cambios en los perfiles de viscosidad de la harina a lo largo del proceso de maduración y la cocción (figura 1). El pico de viscosidad más alto se observó para la harina de Dominico Hartón (Verde+ fresco) y el más bajo para la harina de Cachaco (Maduro+fresco), la tendencia del pico de viscosidad es coherente con el contenido de almidón de las harinas (Cuadro 1). Las harinas (Maduro+fresco) no desarrollaron picos de viscosidad a excepción de Cachaco (Maduro+fresco) desarrolló un leve pico. Además, la concentración evaluada (8%) en el RVA, los pocos gránulos de almidón están muy dispersos en la suspensión, impidiendo el desarrollo de un pico de viscosidad, sumado a esto el aumento de la concentración de azúcares, debido a la hidrólisis enzimática del almidón, resulta en una alta solubilidad por lo cual los azúcares se enlazan a las moléculas de agua y no permiten que se enlacen con el almidón, inhibiendo la hinchazón normal del almidón (Glicksman, 1969). Por otro lado, las harinas (Maduro+cocido) no desarrollaron pico de viscosidad para ninguna de las variedades evaluadas y este comportamiento es similar para los otros parámetros evaluados.

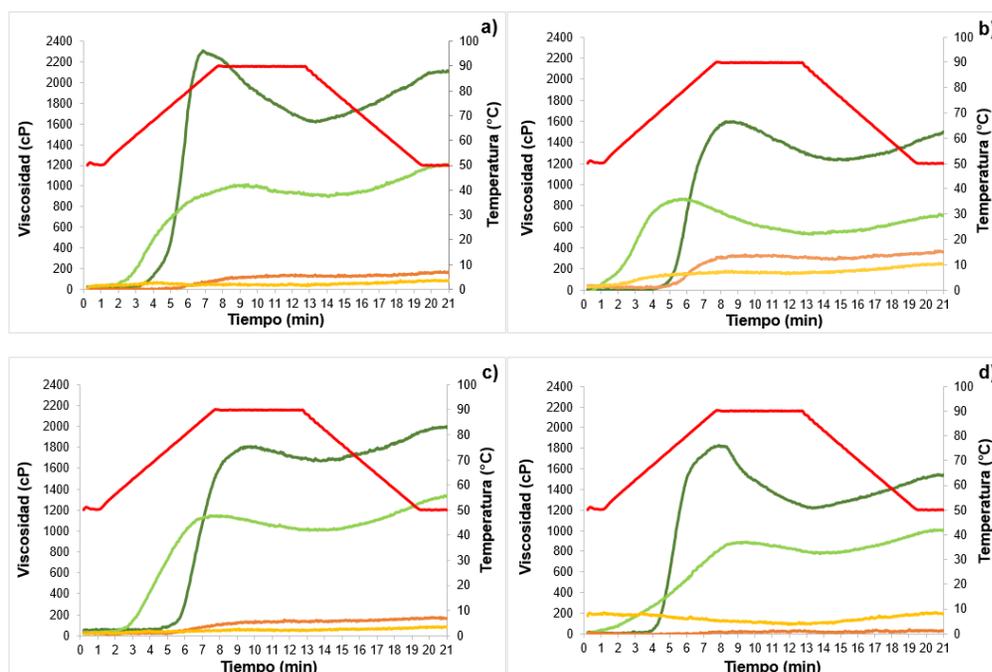


Figura 1. Viscoamilograma de harinas de bananos de cocción en diferentes estados de maduración (verde y maduro) y procesamiento (fresco y cocido), utilizando un RVA, a) Dominico Hartón, b) Cachaco, c) Guayabo, d), Guineo. ___ (Verde + fresco), ___ (Verde + cocido), ___ (Maduro + Fresco), ___ (Maduro + cocido).

Sin embargo, cabe señalar que la temperatura de empastamiento se vuelve más difícil de estimar en muestras cocidas, ya que la viscosidad aumentó ligeramente desde el comienzo de la etapa de mantenimiento. Este fenómeno se observó en las variedades Cachaco y Guineo (Verde+cocida). Para todos los cultivares, se presentó un aumento de la temperatura de empastamiento con la maduración, esto puede ser atribuido a la concentración de azúcares y a la presencia de otras sustancias de bajo peso molecular que compiten con el almidón por el agua (Ayo-Omogie et al., 2021). Se observaron diferencias significativas en las viscosidades finales de las harinas. La viscosidad final más alta fue para Dominico Hartón (Verde+fresco), mientras que Guayabo (Maduro+cocido).

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación proporcionan información novedosa sobre las propiedades y cambios que ocurren durante la maduración y el procesamiento de variedades de bananos de cocción pocos exploradas en Colombia. Las harinas obtenidas de estas muestras no tienen gluten, además, la adición de estas harinas en los alimentos funcionales es beneficiosa para mejorar las propiedades nutricionales y funcionales de los productos. Por lo tanto, promover la aplicación de estas harinas en diversas áreas industriales y satisfacer la demanda de productos alimentarios de etiquetas limpias.

REFERENCIAS

1. AOAC. Métodos oficiales de análisis de la AOAC Internacional. 2005, 18ª ed., AOAC Internacional, Gaithersberg, 2005.
2. Aparicio-Saguilán, A, Flores-Huicochea, E, Tovar, J, García-Suárez, F, Gutiérrez-Meraz, F, Bello-Pérez, LA. 2005. Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: partial characterization. *Starch/Stärke* 57:405–412.
3. Ayo-Omogie, HN, Jolayemi, OS, Chinma, CE. 2021. Fermentation and blanching as adaptable strategies to improve nutritional and functional properties of unripe Cardaba banana flour. *J. Agric. & Food Res.* 6, 100214.
4. Cahyana, Y, Wijaya, E, Halimah, TS, Marta, H, Suryadi, E, Kurniati, D. 2019. The effect of different thermal modifications on slowly digestible starch and physicochemical properties of green banana flour (*Musa acuminata* colla). *Food Chemistry* 274: 274-280.
5. Campuzano, A, Rosell, CM, Cornejo, F. 2018. Physicochemical and nutritional characteristics of banana flour during ripening. *Food Chemistry* 256: 11-17.

6. Dufour, D, Gibert, O, Giraldo, A, Sánchez, T, Reynes, M, Pain, J-P, González, A, Fernández, A, Díaz, A. 2009. Differentiation between Cooking Bananas and Dessert Bananas. 2. Thermal and Functional Characterization of Cultivated Colombian Musaceae (*Musa* sp.). *Journal of agricultural and food chemistry* 57: 7870–7876.
7. Englyst, HN, Kingman, SM, Cummings, JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. [European Journal of Clinical Nutrition](#) 46: 33–50.
8. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2023. *FAOSTAT agricultural production*. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Consulta el 05 de noviembre del 2023.
9. Glicksman, M. 1969. *Gum Technology in the Food Industry*. Pp. 554. New York: Academic Press.
10. Gonzalez-Soto, RA, Mora-Escobedo, R, Hernandez-Sanchez, H, Sanchez Rivera, M, Bello Perez, LA. 2007. The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch. *Food Research International* 40:304–310.
11. Holm, J, Björck, I, Drews, A, Asp, NG. 1986. A rapid method for the analysis of starch. *Starch-Stärke* 38: 224–226.
12. Kumar, PS, Saravanan, A, Sheeba, N, Uma, S. 2019. Structural, functional characterization and physicochemical properties of green banana flour from dessert and plantain bananas (*Musa spp.*). *LWT – Food Science and Technology* 116 (2019).
13. Moreno, JL, Tran, T, Cantero-Tubilla, B, López-López, K, Becerra, LA, Dufour, D. 2021. Physicochemical and physiological changes during the ripening of Banana (*Musaceae*) fruit grown in Colombia. *Int. J. Food Sci. Technol.* 56: 1171-1183.
14. Patiño-Rodríguez, O, Agama-Acevedo, E, Pacheco-Vargas, G, Alvarez-Ramírez, J, Bello-Pérez, LA. 2019. Physicochemical, microstructural and digestibility analysis of gluten-free spaghetti of whole unripe plantain flour. *Food Chemistry* 298: 125085.
15. Von Loesecke, H. W. 1950. *Bananas: Chemistry, physiology, technology* (No. LOE 634.77 (BR 571)). Interscience Publishers, Inc.

Evaluación de la influencia de productos en el agua de lavado en la severidad de antracnosis y calidad de bananos en postcosecha

Luana Aparecida Castilho Maro^{1*}; André Boldrin Beltrame¹; Vanessa Maria Corrêa Pacheco²; Julia Emanueli Rau³

¹Campo Experimental Itajaí. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Itajaí, Santa Catarina, Brasil.

²Associação de Bananicultores de Luiz Alves / Prefeitura Municipal de Luiz Alves. Luiz Alves, Santa Catarina, Brasil.

³Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, Santa Catarina, Brasil.

*Autor de

Correspondencia:

Luana Aparecida Castilho
Maro
luanamaro@epagri.sc.gov.br

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Tecnología de Postcosecha

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Castilho MLA, Boldrin BA,
Corrêa PVM y Emanueli
RJ. 2024. Evaluación de la
influencia de productos en
el agua de lavado en la
severidad de antracnosis y
calidad de bananos en
postcosecha.

Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia 1(1):
75
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2475>

RESUMEN

Se evaluaron la influencia de diferentes productos en el agua de lavado en la severidad de antracnosis y calidad de bananos en postcosecha en dosis recomendadas por los fabricantes. Los parámetros de calidad evaluados fueron: pérdida de masa de materia fresca, color, firmeza de la cáscara, firmeza de la pulpa, resistencia a la caída, contenido de sólidos solubles totales (SST) y severidad de la antracnosis. Los productos no influyeron en los parámetros de color a^* y b^* y en la firmeza de la pulpa, ni provocaron los síntomas de antracnosis en frutos de banano. Las diferencias fueron más evidentes a los 7 días después de salir de la cámara de maduración, siendo ineficaces para mantener la calidad del fruto a los 10 y 13 días. Azoxistrobina + fluoxidinil, independientemente del método de aplicación, mostró el mejor efecto en el mayor número de variables de calidad, seguido del ácido láctico.

Palabras clave: *Musa* spp., *Colletotrichum musae*, agua de lavado, Postcosecha.

ABSTRACT

The influence of different products in the washing water on the severity of anthracnose and the quality of bananas was evaluated at doses recommended by the manufacturers. The quality parameters evaluated were: loss of fresh matter mass, color, peel firmness, pulp firmness, resistance to falling, total soluble solids (TSS) content and severity of anthracnose. The products did not influence the color parameters a^* and b^* and the firmness of the pulp, nor did they cause anthracnose symptoms in banana fruits. The differences were more evident 7 days after leaving the ripening chamber, being ineffective in maintaining fruit quality at 10 and 13 days. Azoxystrobin + fluoxidinil, regardless of the application method, showed the best effect on the greatest number of quality variables, followed by lactic acid.

Keywords: *Musa* spp., *Colletotrichum musae*, washing water, postharvest.



INTRODUCCIÓN

Innumerables actividades son necesarias para el cultivo de banano e las relacionadas con la postcosecha son esenciales para mantener la calidad de la fruta. Después de la cosecha en el campo, los racimos se envían a las empacadoras donde se llevan a cabo diferentes procedimientos para garantizar la calidad de la fruta e su sanidad. La higiene y los procedimientos fitosanitarios de las manos son medidas importantes realizadas pelos productores y consisten en eliminar la suciedad, los vectores de patógenos postcosecha y agentes biológicos, provenientes del campo, además de la detención de la savia resultante del proceso de cosecha.

En 2019, con la pandemia del coronavirus (SARS-CoV-2), surgió una gran preocupación por la transmisión del virus a través de los alimentos. Los países importadores de banano producido en Santa Catarina, como Argentina y Uruguay, han redoblado su atención a los procedimientos de higiene de los frutos recomendados por las instituciones oficiales de investigación. En 2021, una guía publicada por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) indicó que los alimentos y sus envases no son un medio de propagación de virus que causan enfermedades respiratorias, incluido el SARS-CoV-2, y no constituyen directamente un problema de salud alimentaria (FAO, 2021).

Aun así, han aparecido en el mercado muchos productos para uso en tanques de lavado de banano. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia de productos en el agua de lavado para el control de antracnosis y mantenimiento de la calidad de bananos en postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en Campo Experimental de la Epagri de Itajaí, en el municipio de Itajaí – SC, Brasil, en agosto de 2023. Ensayos preliminares indicaron la influencia del ataque de trips de la fruta (*Frankliniella* sp. (Thysanoptera: Thripidae) en la evolución de maduración del fruto y pudrición poscosecha (*Colletotrichum musae*) incluso utilizando racimos embolsados. Con el fin de estandarizar la etapa de maduración y reducir el ataque de trips, se utilizó el embolsado en fase temprana utilizando una bolsa de plástico perforada de color azul. Veinte inflorescencias de bananos del subgrupo Cavendish (*Musa* spp. AAA) fueron embolsados en 20 de marzo de 2023. Utilizando como criterio la desaparición de la angulosidad de los frutos, que correspondió a 141 días después del marcado de los racimos, se cosecharon siete

racimos y se transportaron hasta la casa de empaque para aplicar los tratamientos. Las etapas de corte de racimos, transporte de cosecha a casa de empaque, recepción, depistilado y descascarado siguieron las recomendaciones de Maro et al. (2023). Las manos se dividieron en ramos de cuatro frutos con una masa de $529.8 \pm 70,9$ g cada ramo. Los frutos tuvieron un diámetro promedio de $32.9 \pm 0,9$ mm y se encontraban en estado preclimático (piel verde). Luego se agregaron a cajas plásticas 25 L de agua, 5 mL de detergente neutro, 10 g de sulfato de aluminio y el producto respectivo en la dosis recomendada por el fabricante. Los ramos se sumergieron en la solución durante el tiempo recomendado por los fabricantes. Además, se pulverizaron los ingredientes activos azoxistrobina + fludioxonil y ácido láctico sobre los ramos de plátano utilizando un pulverizador manual, según las recomendaciones de los fabricantes. Luego de aplicar los tratamientos, los ramos fueron pesados para monitorear la pérdida de masa de materia fresca (PMMF) y colocados en cajas plásticas con capacidad de 20 kg que fueron enviadas a la cámara de maduración (18 °C y 95% de humedad relativa) donde permanecieron 3 días hasta la inyección con gas etileno según el proceso descrito por Maro et al. (2023). A la mañana siguiente de la segunda inyección de etileno y agotamiento, los frutos pasaron al Laboratorio de Postcosecha donde permanecieron en condiciones ambientales ($22.6 \pm 0,9\text{ °C}$ y $55.5 \pm 1.2\%$) hasta su completa maduración. Las evaluaciones se realizaron a los 7, 10 y 13 días después de salir de la cámara de maduración.

Las evaluaciones de frutos consistieron en monitorear PMMF, color de la cáscara, firmeza de la cáscara, firmeza de la pulpa, resistencia a la caída y contenido de sólidos solubles totales (SST). La evaluación de la severidad de la antracnosis se realizó periódicamente después de la observación de los primeros síntomas en condiciones de infección natural hasta el último día del análisis físico-químico de los frutos, con la ayuda de la escala esquemática del 0 al 64% del área lesionada del fruto (MORAES et al., 2008). De los datos obtenidos se obtuvo el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) según la ecuación propuesta por Campbell y Madden (1990). Los tratamientos fueron: **1)** fertilizante foliar orgánico, **2)** peróxido de hidrógeno + plata coloidal, **3)** hipoclorito estabilizado al 4%, **4)** azoxistrobina + fludioxonil (inmersión), **5)** azoxistrobina + fludioxonil (aerosol), **6)** ácido láctico (aerosol) y **7)** testigo (solo agua, detergente y sulfato de aluminio).

El estudio se realizó en parcelas subdivididas en el tiempo, estando los productos ensayados en las parcelas, y en las subparcelas, los tres días de evaluación (7, 10 y 13). El diseño experimental fue completamente al azar con 5 repeticiones. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (prueba F) utilizando el software Sisvar v 5.6

(Ferreira, 2000) y las medias comparadas mediante la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad. A su vez, para los análisis estadísticos del ABCPE se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett para verificar si los datos seguían distribución normal y homogeneidad de varianza, respectivamente. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó la formación de distintos grupos de promedios entre el control y los tratados con los diferentes productos, indicando la capacidad de mantener parámetros de calidad como PMMF, L, firmeza de la cáscara, resistencia a la caída (Cuadro 1), contenido de sólidos totales solubles (Cuadro 2) y gravedad de la antracnosis.

Sólo en la primera evaluación (7 días después de salir de la cámara de maduración), los productos ácido láctico, hipoclorito estabilizado al 4% y peróxido de hidrógeno + plata coloidal fueron ineficientes para promover valores más bajos de pérdida de masa.

Para los parámetros de color de cáscara, no se observaron diferencias para los valores de a^* y b^* en los diferentes tratamientos a lo largo del tiempo. Sólo el parámetro L^* (luminosidad o brillo) fue significativo el último día de evaluación (Cuadro 1). Todos los productos proporcionaron valores superiores al control, lo que indica eficiencia en el mantenimiento del brillo de la cáscara.

Bananos tratados con ácido láctico, azoxistrobina + fludioxinil (tanto por inmersión como por aerosol) y peróxido de hidrógeno + plata coloidal tuvieron pieles más firmes que el tratamiento control a los 7 días de salir de la cámara de frío (Cuadro 2). Sin embargo, no pudieron contener la pérdida de turgencia de la concha después de este tiempo. Al evaluar la firmeza de la pulpa se observó que los productos no diferían entre sí y eran ineficaces para mantener la firmeza.

Cuadro 1. Valores medios de pérdida de masa de materia fresca - PMMF (%), luminosidad – L*, fuerza de firmeza en la cáscara (N) y resistencia a la caída (N) de bananos del subgrupo Cavendish lavados con diferentes productos

Tratamientos	PMMF			L*			Fuerza de firmeza en la cáscara						Resistencia a la caída		
				Días después de la salida de la cámara fría ¹											
	7	10	13	7	10	13	7	10	13	7	10	13	7	10	13
Control	2.97 b	8.58 a	11.72 a	66.42 a	63.68 a	51.64 b	32.91 b	19.50 a	15.16 a	11.82 a	6.78 a	1.18 a			
Ácido láctico	3.38 a	6.86 a	8.95 a	65.14 a	62.27 a	60.82 a	37.84 a	21.60 a	12.71 a	11.02 b	5.96 a	1.10 a			
Azoxistrobina + fludioxinil	3.04 b	6.33 a	9.51 a	66.46 a	64.66 a	60.27 a	35.16 a	19.68 a	13.46 a	9.40 b	3.34 b	1.28 a			
Azoxistrobina + fludioxinil (aerosol)	3.14 b	6.56 a	9.78 a	65.66 a	64.78 a	60.54 a	35.83 a	20.69 a	13.74 a	10.72 b	4.54 b	0.84 a			
Fertilizante foliar orgánico	2.94 b	6.22 a	9.46 a	67.13 a	64.16 a	63.97 a	32.11 b	20.72 a	12.11 a	12.08 a	6.76 a	1.56 a			
Hipoclorito estabilizado 4%	3.33 a	7.14 a	10.24 a	66.72 a	66.22 a	58.77 a	30.78 b	18.74 a	12.04 a	10.12 b	3.58 b	1.10 a			
Peróxido de hidrógeno + plata coloidal	3.37 a	6.62 a	9.83 a	67.05 a	64.36 a	60.70 a	34.99 a	17.71 a	11.69 a	10.50 b	5.06 b	1.72 a			
CV (%)	5.97	28.38	23.92	1.54	2.77	6.63	11.66	10.72	18.71	8.03	20.64	46.41			

¹Separación de medias según la prueba de Scott Knott al 95% de probabilidad.

Cuadro 2. Valores medios de sólidos solubles totales (°brix) de bananos y severidad de la antracnosis (ABCPE) del subgrupo Cavendish lavados con diferentes productos.

Tratamientos	Sólidos solubles totales			ABCPE
	Días después de la salida de la cámara fría			
	7	10	13	
Control	23.40 b	24.74 a	23.52 a	199.45 a
Ácido láctico	23.80 a	25.98 a	24.82 a	190.90 a
Azoxistrobina + fludioxinil	22.20 e	23.94 a	23.62 a	198.80 a
Azoxistrobina + fludioxinil (aerosol)	23.00 c	25.38 a	23.42 a	218.80 a
Fertilizante foliar orgánico	22.30 e	23.64 a	22.00 a	193.65 a
Hipoclorito estabilizado 4%	23.08 c	25.30 a	23.54 a	214.80 a
Peróxido de hidrógeno + plata coloidal	22.24 e	25.26 a	23.92 a	184.25 a
CV (%)	0.63	5.20	6.40	11.06

¹Separación de medias según la prueba de Scott Knott al 95% de probabilidad.

En cuanto a la resistencia a la caída, se observaron diferencias significativas a los 7 y 10 días después de salir de la cámara de frío. Los valores más altos indican la necesidad de una mayor fuerza para promover el colapso. Por lo tanto, sólo el testigo, ácido láctico y fertilizante foliar orgánico promovieron una mayor integridad de los tejidos del pedú

Además de la resistencia a la caída, los productos mostraron diferencias significativas con relación al control para el contenido de sólidos solubles totales sólo en los días 7 y 10 (Cuadro 2). Ácido láctico, azoxistrobina + fludioxinil (ambas formas de aplicación), hipoclorito estabilizado al 4% y peróxido de hidrógeno + plata coloidal formaron un grupo de promedios a los 7 días que indican un menor grado de maduración de los frutos tratados con dichos productos. Si bien se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la evaluación de 10 días, los bajos valores de SST indican que los frutos están entrando en senescencia.

Finalmente, bajo las condiciones evaluadas, ningún tratamiento redujo el ABCPE (Cuadro 2). A diferencia de los resultados observados en este trabajo, varios autores demostraron que algunos de los ingredientes activos estudiados redujeron los

síntomas de la enfermedad en otros patosistemas (FURTADO et al., 2010; KANETIS et al., 2007), pero el peróxido de hidrógeno + plata coloidal tampoco redujo la severidad de la pudrición blanda en melocotoneros (CARVALHO et al., 2009). Se observó que los frutos presentaron una alta severidad de daños causados por trips, lo que podría facilitar el desarrollo de *C. musae* y, (MARTINS et al., 2020) en consecuencia, dificultar la acción de los productos evaluados.

CONCLUSIONES

Los productos no influyeron en los parámetros de color a^* y b^* y en la firmeza de la pulpa, ni provocaron los síntomas de antracnosis en frutos de banano. Las diferencias fueron más evidentes a los 7 días después de salir de la cámara de maduración, siendo ineficaces para mantener la calidad del fruto a los 10 y 13 días.

REFERENCIAS

1. Campbell CL, Madden L. Introduction to plant disease epidemiology. New York: J. Wiley, 532p., 1990.
2. Carvalho VL, Cunha RL, Chalfun NNJ, Moura PHA. Alternativas de controle pós-colheita da podridão-parda e da podridão-mole em frutos de pessegueiro. Rev. Bras. Frutic., v. 31, n. 1, p. 078-083, 2009
3. FAO – Food and Agriculture Organization. 2021. COVID-19: Guidance for preventing
4. transmission of COVID-19 within food. <https://www.fao.org/3/cb6030en/cb6030en.pdf> / Acesso en Octubre, 26, 2023.
5. Ferreira, DF. 2000. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45(2000), 235.
6. Furtado LM, Rodrigues AAC, Araújo VS, Silva LLS, CatarinoAM. Utilização de Ecolife® e Acibenzolar –s-metil (ASM) no Controle da Antracnose da banana em pós-colheita. Summa Phytopathologica, v.36, n.3, p.237-239, 2010.
7. Kanetis L, Förster H, Adaskaveg JE. Comparative efficacy of the new postharvest fungicides azoxystrobin, fludioxonil, and pyrimethanil for managing citrus green mold. Plant Disease, v. 91, p. 1502-1511, 2007.
8. Maro LAC, Lima JR, Negreiros RJZ. 2023. Manejo da banana na colheita e pós-colheita. In: Produção de Bananas em Santa Catarina. In: Guimarães GGF, Beltrame AB, Malburg JL, Maro LAC, Scherer RF, Negreiros RJZ. (Eds) Produção de banana em Santa Catarina. Epagri. Florianópolis, SC, Brazil, p. 223-251.
9. Martins RC, Leonel S, Souza JMA, Silva MS, Ferreira RB, Züge PGU, Lorenzetti ER, Bueno CROF. Yield, seasonality and plant health care of banana ‘BRS Conquista’ covered with different coloured polyethylene bags. SEMINA: CIÊNCIAS AGRÁRIAS 41(6):2977-2990, 2020

-
10. Moraes WS, Zambolim L, Lima JD. Quimioterapia de banana ‘prata anã’ no controle de podridões em pós-colheita. *Arquivos do Instituto Biológico*, v.75, n.1, p.79-84, 2008.

Valoración de características fisicoquímicas del fruto del banano (*Musa* AAA), cultivado en altas densidades de plantación y arreglo poblacional

Jose Luis Barrera-Violeth^{1*}; Jose Regulo Cartagena-Valenzuela²

¹Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Montería, ²Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias.

*Autor de

Correspondencia:

Jose Luis Barrera-Violeth
jlbarrera@correo.unicordoba.edu.co

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Tecnológica de Postcosecha

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Barrera-Violeth JL y
Cartagena-Valenzuela JR.
2024. Valoración de
características
fisicoquímicas del fruto del
banano (*Musa* AAA),
cultivado en altas
densidades de plantación y
arreglo poblacional.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
76
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2476>

RESUMEN

Se determinó el efecto de las altas densidades de plantación y arreglos poblacionales *Musa* AAA Simmonds, en los parámetros fisicoquímicos del fruto. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo bifactorial de 3 x 4, correspondiente a tres arreglos poblacionales (rectángulo, triángulo y doble surco), cuatro densidades (2000, 2500, 3000 y 3500 plantas ha⁻¹). Se determinaron los parámetros físicos (textura) y químicos (pH, acidez titulable y sólidos solubles totales). Las características fisicoquímicas de los frutos fueron afectadas cuando las plantas fueron distribuidas en doble surco al incrementar el contenido de sólidos solubles totales, pH y en triángulo los ácidos orgánicos.

Palabras clave: Maduración, frutas tropicales, atributos organolépticos y químicos, postcosecha.

ABSTRACT

The effect of high plantation densities and *Musa* AAA Simmonds population arrangements on the physicochemical parameters of the fruit in the municipality of Turbo, Antioquia, was determined. An experiment was established under a randomized complete block design in bifactorial arrangement of 3 x 4, corresponding to three population arrangements (rectangle, triangle and double groove), four densities (2000, 2500, 3000 and 3500 plants ha⁻¹). Physical (texture) and chemical parameters (pH, titratable acidity and total soluble solids) were determined. The physicochemical characteristics of the fruits were affected by plant distributions in triangle and double groove designs

Keywords: Ripening, tropical fruits organoleptic and chemical attributes, postharvest.



INTRODUCCIÓN

En Colombia se reportaron para el 2022 cerca de 53.318 ha de banano con fines de exportación establecidas en los departamentos de Antioquia con la mayor área y el departamento del Magdalena, con una productividad de 2.027 cajas por hectárea, sin embargo, hubo una notoria caída en la productividad de -4,5% con respecto al año anterior. En cuanto a la comercialización el volumen de exportación total en 2022 fue de 108 millones de cajas (20 kg) que generaron ingresos de US\$ 892 millones FOB (AUGURA, 2022). Las condiciones ambientales y de manejo agronómico del cultivo influyen durante el llenado, así como en los parámetros de calidad de los frutos requeridos para el mercado de destino (Robinson y Galán, 2010; Brenes *et al.*, 2017). Las altas densidades de plantación, así como la distribución de las plantas juegan un papel importante en la productividad del cultivo de banano, porque de ellas depende que se obtengan frutas de buena calidad, en particular por el efecto de la competencia entre plantas sobre el grosor y largo de la fruta (Barrera *et al.*, 2020). Por otro lado, las prácticas culturales, épocas de cosecha y las condiciones agroecológicas, influyen significativamente en el contenido de sólidos solubles totales (SST), minerales, acidez, pH, entre otras variables que se expresan durante los estados de la maduración en diferentes Musáceas (Barrera-Violeth *et al.*, 2010). Los descensos observados en la textura de la pulpa del fruto de banano, cuando se incrementaron los SST, se atribuyen a la acción de la maduración por incremento en los niveles de etileno (C₂H₄) y de otros catalizadores metabólicos, que causan la degradación de la pectina, el almidón y el aumento de los azúcares (García-W. *et al.*, 2006) y al tiempo de almacenamiento en poscosecha (Ciro-Velásquez *et al.*, 2005).

En las zonas bananeras de Colombia, ubicadas en los departamentos del Magdalena y Antioquia, son pocas las referencias relacionadas con el efecto de las densidades de plantación y la distribución de las plantas en las variables organolépticas relevantes del fruto para el manejo poscosecha y su comercialización; por tal motivo, se planteó este estudio, que aborda el tema al que se hace referencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la finca La Venturosa de la Empresa Bananeras del Urabá, ubicada en el municipio de Turbo Antioquia-Colombia, con un promedio de temperatura de 28 °C, humedad relativa de 86,94%, precipitación anual de 3246,42 mm y brillo solar de 4,2 horas luz día, con un relieve plano desarrollado a partir de aluviones de diferente granulometría, moderadamente profundo, con drenaje interno

moderado, de texturas franco arcillo limosa y fertilidad media, representativos del orden Inceptisoles (IGAC, 2007).

El estudio se estableció, bajo un diseño de bloques completos al azar con un arreglo bifactorial 4 x 3 (cuatro densidades de plantación, tres arreglos poblacionales) y 12 tratamientos que corresponden a las cuatro densidades (2,000, 2,500, 3,000 y 3,500 plantas ha⁻¹), los arreglos de plantas (triángulo, rectángulo y doble surco) para un total de 12 tratamientos. Fueron utilizadas plántulas obtenidas de cultivo in vitro de *Musa* AAA Simmonds cv. Williams y establecidas de acuerdo al plan de tratamientos. El manejo agronómico se hizo de acuerdo a los requerimientos de la comercializadora UNIBAN.

La cosecha de los racimos de cada tratamiento se realizó cuando alcanzaron la madurez comercial entre 10 a 12 semanas de edad. En cada tratamiento se seleccionaron cuatro racimos de las plantas ubicadas en la parcela útil. Para las determinaciones físicas y químicas en los frutos, de cada tratamiento se seleccionaron cuatro racimos y de cada uno, se tomaron cincuenta (50) frutos, que fueron transportadas al laboratorio de la Universidad de Córdoba-Montería en condiciones de refrigeración, donde fueron almacenados a temperatura ambiente de 22 °C para registrar su proceso de maduración. Cada tratamiento se ubicó en recipientes separados para evitar contaminación de muestras por acumulación de gases como el etileno. El registro de los datos correspondiente a cada una de las variables, se hizo cada cuatro días.

Caracterización física de los frutos. La firmeza se determinó en muestras frescas de banano en diferentes estados de madurez, para esta evaluación se utilizó un texturómetro TA.XT plus Stable Micro Systems. El procedimiento se hizo en pedúnculo, centro y ápice, equivalentes al 25, 50 y 75 % de la longitud de la curvatura externa del fruto, obteniendo un promedio final (Ciro-Velásquez *et al.*, 2005). La fuerza para penetrar la cáscara y la pulpa, se expresó en Newton (N).

Características químicas de los frutos. El contenido de SST se determinó según el método 932.12/90 de la A.O.A.C., el pH, conforme al método 981.12 de la A.O.A., la acidez titulable (AT), se expresó como porcentaje de ácido málico, acorde a lo definido en la norma 942.05/90 de la A.O.A.C

Análisis estadístico. La información obtenida fue sometida a un análisis de varianza (ANAVA). Las significancias estadísticas del ANAVA, se analizaron con pruebas de

Tukey ($p=0,05$) para los arreglos poblacionales; regresiones para las densidades de siembra; y tablas de doble entrada con contrastes ortogonales para la interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Firmeza del fruto (pulpa y cáscara) (N). El análisis de varianza indicó que la firmeza de la pulpa (FP) fue influenciada significativamente ($p \leq 0,01$) por el arreglo poblacional a los 0 y 12 DDC, y por la interacción arreglo poblacional x densidad de plantación, a los 0 y 12 DDC; mientras que la firmeza de la cáscara (FC) tendió a responder a los efectos ($p=0,01-0,05$) del arreglo poblacional y la densidad de plantación, al igual que la interacción, a los 0 y 12 DDC. En la FP, la respuesta de los arreglos en función de la densidad de plantación, tuvo una respuesta diferencial. Por su parte, la prueba de medias (Cuadro 1), indicó que el arreglo de plantas en triángulo y doble surco presentaba similitud en la FP en densidades de 2,000 y 2,500 plantas ha^{-1} , en densidades superiores los arreglos poblacionales presentaron la misma similitud estadística y fue notoria la disminución de la firmeza de los frutos con el avance de la maduración del fruto. Sin embargo, de manera general el arreglo en triángulo influyo en una mayor FP a los 12 DDC. La FC del fruto al momento de la cosecha presentó similitud estadística, en tanto que a los 12 DDC se observó que el arreglo en triángulo de manera general presento mayor influencia en la conservación de la firmeza de los frutos en las diferentes densidades de plantación evaluadas.

Cuadro 1. Respuesta de la firmeza (N) de la pulpa (FP) y de la cáscara (FC) de frutos de banano cv. Williams (*Musa* AAA Simmonds), en función del arreglo poblacional y la densidad de plantación a los 0, 12 y 20 días después de la cosecha (DDC).

Parámetro	DDC	Arreglo	Densidad de plantación (plantas ha^{-1})			
			2000	2500	3000	3500
FP	0	Triángulo	6,42 aA	6,20 aA	6,10 aA	6,20 aA
		Rectángulo	5,19 cB	5,54 bcB	6,12 aA	5,88 abA
		Doble surco	6,43 aA	6,19 aA	6,26 aA	6,13 aA
	12	Triángulo	4,27 aA	5,05 aA	4,99 aA	5,19 aA
		Rectángulo	1,56 cB	3,54 abA	3,22 abB	3,77 aB
		Doble surco	5,33 aA	1,29 bB	1,93 bB	2,35 bB
FC	0	Triángulo	15,05 aA	12,89 bB	15,79 aA	13,48 bB
		Rectángulo	14,12 cA	14,09 cA	16,38 aA	15,16 bA
		Doble surco	14,97 aA	14,65 abA	13,96 bB	13,95 bB
	12	Triángulo	11,89 aA	12,25 aA	12,90 aA	11,79 aA
		Rectángulo	6,93 cB	10,95 abA	10,98 abA	12,23 aA
		Doble surco	12,54 aA	10,34 aA	10,82 aA	10,82 aA

Promedios con letras minúsculas en sentido horizontal no difieren estadísticamente, según la prueba de contrastes ortogonales ($F, p \leq 0,05$). Promedios con letras mayúsculas en sentido vertical no difieren estadísticamente, según la prueba de contrastes ortogonales ($F, p \leq 0,05$).

Características químicas del fruto. El análisis de varianza, mostró que el pH, los SST y la acidez respondieron significativamente ($p=0,01-0,05$) a los efectos del arreglo poblacional, la densidad de plantación y a la interacción densidad x arreglos poblacionales, a los 0 y 12 DDC (Cuadro 2). El pH del fruto al momento de la cosecha y a los 12 DDC, es influenciado por los arreglos y densidades de plantación; al respecto se observó, que en densidades de 3,500 plantas ha⁻¹ y en arreglo en doble surco, es más bajo el pH. En cuanto al contenido de SST en el fruto al momento de la cosecha y a los 12 DDC, el arreglo en doble surco presento de manera general la mayor acumulación en todas las densidades. Mientras que la acidez del fruto fue mayor en el arreglo en triángulo en todas las densidades de plantación.

Cuadro 2. Respuesta del pH, contenido de sólidos solubles totales (SST) y acidez de frutos de banano cv. Williams (Musa AAA Simmonds en función del arreglo poblacional y la densidad de plantación a los 0, 12 y 20 días después de la cosecha (DDC)

DDC	Arreglo	pH				SST				Acidez			
		2000	2500	3000	3500	2000	2500	3000	3500	2000	2500	3000	3500
0	Triángulo	5,26 bB	6,01 bA	6,13 aA	6,15 a ^f	5,12 aA	4,34 bcB	4,45 bC	4,12 cB	0,17 bA	0,19 aA	0,12 dB	0,14 cA
	Rectángulo	4,65 cC	5,74 bB	5,67 bB	6,03 a ^f	4,23 cB	5,01 bA	5,56 aA	5,03 bA	0,14 aB	0,10 dC	0,12 cB	0,13 bB
	Doble surco	5,70 bA	5,96 aA	5,28 cC	4,98 d ^c	5,00 aA	5,13 aA	5,15 aB	5,13 aA	0,09 dC	0,12 bB	0,16 aA	0,10 cC
	Triángulo	4,83 dC	5,41 cA	5,50 bA	5,57 a ^f	16,57 cB	19,81 aB	17,99 bB	11,86 dB	0,16 aB	0,13 bA	0,14 bB	0,16 aA
12	Rectángulo	5,19 cB	5,42 bA	5,43 bC	5,67 a ^f	17,62 bA	12,50 cC	24,34 aA	11,67 dB	0,12 aC	0,11 bB	0,12 aC	0,12 aB
	Doble surco	5,57 aA	5,44 cA	4,51 bB	5,06 d ^c	15,22 dC	21,17 aA	16,68 cC	19,52 bA	0,18 aA	0,11 bB	0,17 aA	0,11 bC

Promedios con letras minúsculas en sentido horizontal no difieren estadísticamente, según la prueba de contrastes ortogonales ($F, p \leq 0,05$). Promedios con letras mayúsculas en sentido vertical no difieren estadísticamente, según la prueba de contrastes ortogonales ($F, p \leq 0,05$).

CONCLUSIONES

El efecto derivado del incremento de las densidades de plantación bajo el arreglo en doble surco, tuvo poca influencia sobre la textura de los frutos de banano. La distribución de plantas en doble surco con incremento en las densidades de plantación, favoreció positivamente el contenido de SST y pH en la pulpa y de igual modo, el arreglo en triángulo promovió el incremento de los ácidos orgánicos.

Las correlaciones positivas observadas mostraron que las densidades y arreglos poblacionales influyeron positivamente sobre la mayoría de los parámetros de maduración del fruto.

REFERENCIAS

1. Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.) (2003). Official Methods of Analysis of AOAC International. Maryland, USA.
2. ASOCIACIÓN DE BANANEROS DE COLOMBIA (AUGURA) (2022). Coyuntura bananera: “Análisis del Mercado del Banano”. 38 p. <https://augura.com.co/wp-content/uploads/2023/04/Coyuntura-Bananera-2022-2.pdf>
3. Barrera-Violeth, JL, Cartagena, J., Nanclares-Gómez, O. (2020). Influencia de altas densidades y arreglos de siembra en el rendimiento y desarrollo de frutos de Musa AAA Simmonds. *Acta Agronómica* 60 (1): 46-53 doi: <https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.79834>
4. Barrera-Violeth, J. Arrazola, G., Cayón-Salinas., D. (2010). Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (*Musa* AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica* 59 (1), 20-29.
5. Brenes-Gamboa, S. 2017. Production and quality parameters of three banana cultivars FHIA-17, FHIA-25 and Yangambi. *Agron. Mesoam.* 28(3):719-733. doi: <https://10.15517/ma.v28i3.21902>
6. Ciro-Velásquez, H., Montoya, M., Milán-Cardona, L. (2005). Caracterización de las propiedades mecánicas del banano (Cavendish Valery). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 58(2), 2975-2988.
7. García, C., Giraldo, G., Hurtado, H. & Mendivil, C. (2006). Cinética enzimática de la polifenol oxidasa del banano Gros Michel en diferentes estados de maduración. *Vitae*, 13(2), 13-19.
8. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (2007). Estudio semidetallado de suelos de las áreas potencialmente agrícolas. Urabá Departamento de Antioquia (489 pp.). Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <http://harvester.humboldt.org.co/Record/cat-iavh-18334/Details>
9. Robinson J.CH., Galán, V. (2010) *Bananas and Plantains*. London, UK.: CABI.

Desafíos del sector bananero y platanero en el contexto del siglo XXI

Thierry Lescot, Denis Loeillet, Carolina Dawson, Luc de Lapeyre de Bellaire

CIRAD – Francia

*Autor de

Correspondencia:
Thierry LESCOT
drplantain@gmail.com

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Lescot T, Loeillet D,
Dawson C y de Lapeyre de
Bellaire L. 2024. Desafíos
del sector bananero y
platanero en el contexto del
siglo XXI. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 77
<https://doi.org/10.62498/AR-TC.2477>



INTRODUCCIÓN

Si la producción mundial aumenta casi al mismo nivel que la población mundial, hasta la sobrepasa, hay que destacar que este aumento se atribuye casi únicamente al grupo ‘Cavendish’: representaba el 38 % de toda la producción de musáceas en 1997, y en la actualidad sobrepasa el 56 % (2021) (Lescot, 1998; Lescot, 2023) (Figura 1).

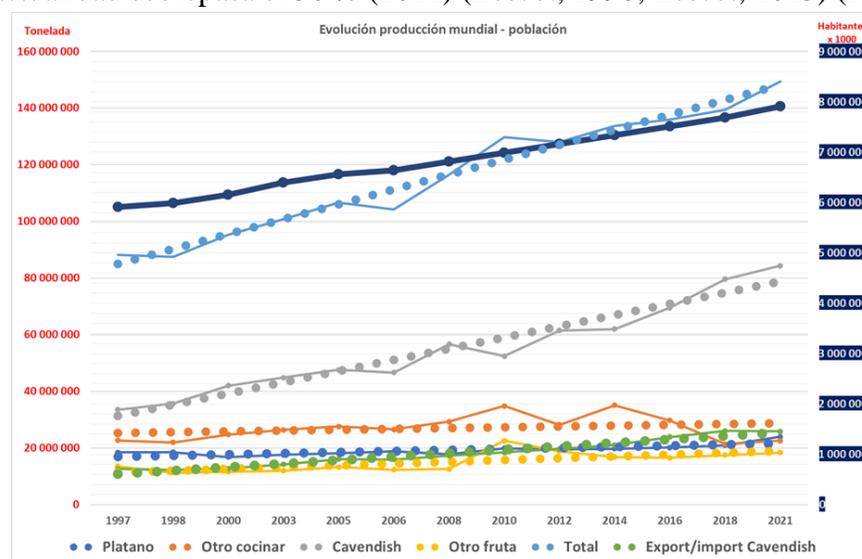


Figura 1. Evolución de la producción mundial versus población mundial (datos CIRAD).

Así mismo, aumentó el consumo promedio de bananos y plátanos: desde 15 kg por habitante y por año en 1997 hasta casi 19 kg actualmente; claro que con grandes disparidades según los territorios: desde pocos kilos en algunos países del este de Europa o de Asia central, hasta más de 500 kg en zonas rurales de África del este como en Uganda (Madalla et al., 2023).

Sin embargo, Los desafíos del sector bananero y platanero siguen siendo importantes en este siglo XXI, y el programa de este XXIV Congreso Internacional de

ACORBAT 2024 en Mérida (México) expresa en detalle con expertos internacionales estrategias para enfrentar estos desafíos.

Enfermedades y Plagas

Una de las preocupaciones del mundo bananero y platanero, así como de su comercio, es siempre el impacto de las principales enfermedades y plagas. En primer lugar, para el continente americano, es la extensión de la grave enfermedad del hongo *Fusarium* – FOC-R4T (Figura 2).

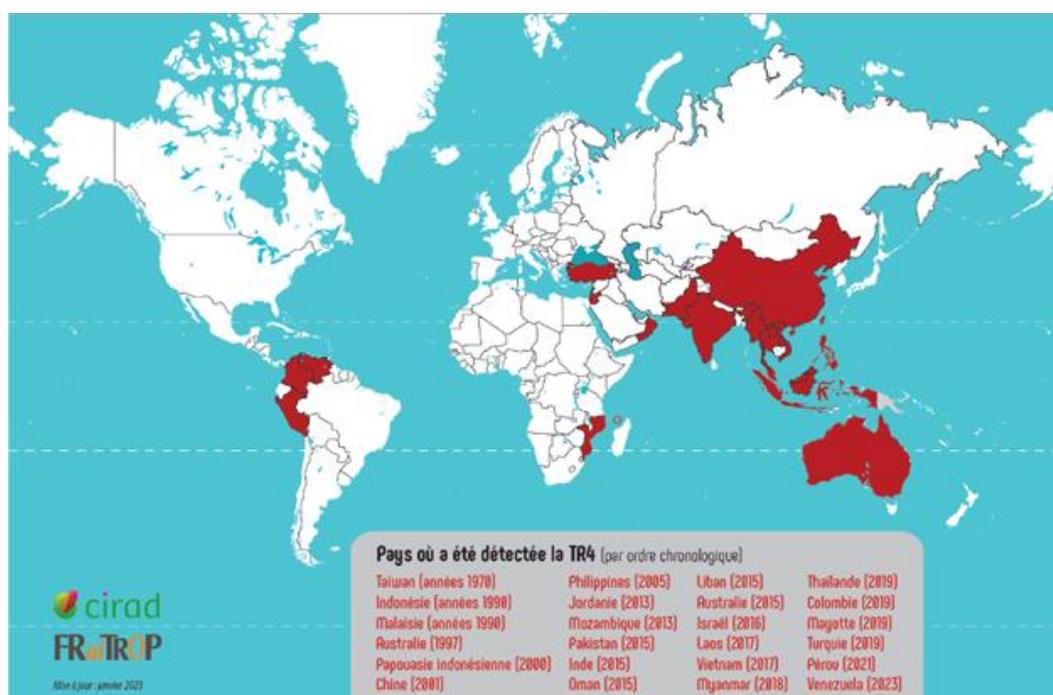


Figura 2. Países afectados por FOC-R4T – FruiTrop 2023.

Es necesario destacar la movilización general en el continente para limitar la expansión y el impacto de la grave enfermedad del hongo *Fusarium* – FOC-R4T con algunas orientaciones en la investigación en variedades tolerantes de Cavendish, en variedades resistentes (incluyendo la edición del genoma) de tipo ‘Cavendish’ y otras variedades frutas y tipo plátano, en el manejo biológico y bioquímico del suelo, y en la comunidad microbiana como ‘bioprotección’, o en el aumento de la biodiversidad (barbecho, rotación y asociaciones de cultivo, plantas ‘de servicios’).

La tesis de Fernando A. García-Bastidas demuestra en laboratorio y en invernadero una gran diversidad de comportamientos del FOC-R4T sobre una gran diversidad de variedades silvestres, cultivadas naturales e híbridos (García-Bastidas,

2019). Además, algunas informaciones indican diferencias de comportamiento en campo, atribuidas a cepas del hongo más o menos agresivas en contextos de suelo y clima distintos. El caso de la cepa encontrada en Venezuela revela un impacto severo sobre todas las variedades (soma-clones) de Cavendish, incluyendo las que se anunciaron como siendo más tolerantes (comunicación personal). Si Taiwán, Filipinas y Mozambique han orientado sus estrategias de lucha con el uso de algunas variantes de soma-clones del 'Taiwan Banana Research Institute' (TBRI), y en particular el 'GCTCV 218' llamado comúnmente 'Formosana', pues, datos demuestran la inestabilidad fenotípica de este material lo que implica diferencias de comportamiento frente a las mismas cepas de FOC-R4T.

Algunos equipos de mejoramiento genético convencional (con hibridación) saben transmitir a sus descendientes los genes de resistencia al FOC (razas 1, 4 y 4T), como también para la resistencia a la Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*). Sin embargo, el comportamiento agronómico de producción no corresponde aun a las normas de exportación del (modelo 'Cavendish'), pero representan una alternativa promisoría para las producciones nacionales afectadas (Salmon et al., 2023).

La problemática de la aceptación social de posibles variedades genéticamente modificadas queda pendiente, especialmente en Europa (Dale et al., 2017).

También múltiples orientaciones en el estudio y manejo del suelo para reducir la intensidad de Fusarium en la bananera, con diversos resultados preliminares sobre: 1) la calidad bioquímica del suelo (pH, textura, estructura, biodiversidad, fertilización, ... (suelos supresivos ?)); 2) la comunidad microbiana (microbioma), y el uso de sepas de *Trichoderma*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, ... ; 3) el aumento de la biodiversidad con prácticas agrícolas adaptadas: barbecho, rotación y asociaciones de cultivo, plantas 'de servicios', etc. Pero es evidente la dificultad de generalización de resultados en tantos contextos distintos (suelos, climas, prácticas de cultivo, ...). Es importante la objetivación de esos ejes de conocimiento: 1) la epidemiología del hongo (modo de diseminación; su sobrevivencia y persistencia ('chlamydospores'), ..., 2) las interacciones en el microbioma, 3) las influencias de las prácticas culturales, 4) el comportamiento del hongo con variedades tolerantes y resistentes, Etc.

¡Se necesita más investigación = más financiación = más tiempo ≠ pero hay urgencia!

El control de la Sigatoka negra sigue siendo una gran preocupación para la mayoría de los productores del banano 'Cavendish' para la exportación (en menor medida para el plátano de consumo nacional) en zonas húmedas : con la presión social para la reducción del uso de pesticidas, en este caso de moléculas fungicidas, y después

de la aparición generalizada de resistencias del hongo ante el uso masivo de las nuevas moléculas de fungicidas sistémicos, el control actual está basado en el uso intensivo y casi exclusivo de la antigua molécula fungicida de contacto ‘Mancozeb’ (Dithiocarbamato), pero la UE quiere prohibir su uso imponiendo un nivel bajo de límites máximos de residuos en la fruta importada. Resultados de investigaciones en África demuestran la factibilidad de alternativas al Mancozeb (de Lapeyre de Bellaire et al., 2021).

Otra enfermedad importante causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* o ‘Moko’ que sigue expandiéndose en el continente en banano y plátano y en relación con los cambios climáticos, y con difíciles estrategias de control comprobadas y referenciadas.

Otra amenaza fitosanitaria es el avance de la grave enfermedad viral llamado ‘Bunchy Top’, bastante devastadora en muchas plantaciones de musáceas en Asia, África y Oceanía, pero, ausente del continente americano (como antes, para FOC-R4T), todas las condiciones medio-ambientales están reunidas, incluyendo la presencia en todas las zonas bananeras y plataneras, del áfido vector principal de la enfermedad, *Pentalonia nigronervosa*; la prevención con los servicios fitosanitarios nacionales y regionales es determinante (Martinez-Solórzano et al., 2022).

En cuanto a plagas siguen investigaciones y resultados interesantes para el manejo integrado del picudo negro, defoliadores e insectos impactando la fruta.

Cambio Climático

Expertos indican, por ejemplo, el aumento de las temperaturas y las perturbaciones en los regímenes de lluvias que pueden desplazar las zonas de cultivo, o cambiar las dinámicas de plagas y enfermedades, afectando a millones de toneladas de producción. Las proyecciones indican que Ecuador estaría en “ventaja”, mientras que Colombia y Panamá tendrían los mayores desafíos. También con desafíos, pero en un menor grado, Nicaragua, Costa Rica, y Guatemala (Ramírez-Villegas, 2023). Las decisiones deben ir pensando desde ya a migración, manejo, cambio varietal e infraestructuras; en cuanto a impactos económicos, es necesario analizar los costos de una no-adaptación o mal-adaptación, escogiendo métodos de evaluación apropiados (Ramírez et al., 2011).

Mercado internacional

En cuanto al mercado internacional, si en los dos últimos años (2022 y 2023) se revalorizó el precio de la caja de banano de exportación, todo parece indicar que fueron años de excepción y que va a seguir siendo un producto muy competitivo la presión comercial de las grandes cadenas distribuidoras a mantener precios de importación bajos, a pesar de posibles impactos de cambios climáticos, y a pesar del contexto del alza de los costos de producción. Además, la presión societal de los países consumidores (especialmente en la UE, con su ‘Pacto Verde’) sigue insistiendo en mayor transparencia en los indicadores de huellas de carbono, MRL de residuos de pesticidas químicos, en salarios dignos y nivel de vida para los trabajadores, lo que implica mantener (ver aumentar) la multiplicación de normas y sellos de calidad. ¿Será posible una armonización de las compañías certificadoras para disminuir esos sellos y sus costos de certificación? En este difícil contexto, todo parece indicar que una de la solución será de trabajar más en aumentar la productividad (ton/ha/año) actual, con la tendencia casi segura de excluir del comercio internacional a numerosos pequeños productores ... La responsabilidad de los actores de la cadena debe de ser compartida o la sostenibilidad del sector no será posible (Loeillet, 2023).

CONCLUSIONES

En conclusión, con las amenazas de los bio-agresores y las dificultades de control, los efectos del cambio climático y la problemática del modelo único ‘Cavendish’ en el comercio internacional, el futuro necesita más investigación para abrir, como para tantos productos frescos, a la segmentación con otras variedades más resilientes.

REFERENCIAS

1. Lescot T. 2023. World banana production in its genetic diversity and uses. *Fruitrop* (287) : 100-104. <https://www.fruitrop.com/en/Articles-by-subject/Statistics/2023/BANANA-2021-production-and-trade-statistics>
2. Lescot T. 1998. Les bananiers : une diversité méconnue - Banana : little-known wealth of variety. *Fruitrop* (51) : 8-11. http://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=390330
3. Madalla, N.A., Swennen, R., Brown, A. *et al.* 2023. Farmers' preferences for East African highland cooking banana 'Matooke' hybrids and local cultivars. *Agric & Food Secur* **12**, 2. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00407-7>

4. García-Bastidas, F. A. 2019. Panama disease in banana: Spread, screens and genes. [internal PhD, WU, Wageningen University]. Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/467427>
5. Salmon F., Bakry F., Efile J.C., Ricci S., Toniutti L., Horry J.P.. 2023. Banana breeding at CIRAD: creating resistant new cultivars to avoid the use of pesticides. In: Ocimati W. (ed.), Lescot T. (ed.), Lehrer K. (ed.). Proceedings of the XII International Symposium on Banana: Celebrating Banana Organic Production. Louvain: ISHS, p. 201-208. (Acta Horticulturae, 1367). International Horticultural Congress (IHC 2022): International Symposium on Banana: Celebrating Banana Organic Production. 31, 2022-08-14/2022-08-20, Angers (France). DOI: [10.17660/ActaHortic.2023.1367.23](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1367.23)
6. Dale, J., James, A., Paul, J. Y., Khanna, H., Smith, M., Peraza-Echeverria, S., Garcia-Bastidas, F., Kema, G., Waterhouse, P., Mengersen, K., & Harding, R.. 2017. Transgenic cavendish bananas with resistance to Fusarium wilt tropical race 4. Nature Communications. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01670-6>
7. De Lapeyre de Bellaire L., Lescot T., Loeillet D. 2021. Mancozeb as a banana treatment, the end of an icon. Fruitrop (274), 8-13. <https://www.fruitrop.com/en/Articles-by-subject/Economic-analyses/2021/Mancozeb-as-a-banana-treatment-the-end-of-an-icon>
8. Martínez-Solórzano, G. E., Rey, J. C., Urías, C., Lescot, T., Roux, N., Salazar, J., & Rodríguez, Y.. 2022. Banana bunchy top virus: Threat to musaceae in Latin America and the Caribbean. Agronomía Mesoamericana, 34(1), 49577. <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.49577>
9. Ramírez-Villegas, J.. 2023 Posibles escenarios futuros para la industria bananera Latinoamericana. Webinar Ciclo de Conferencias Virtuales, CORBANA, 23 Noviembre 2023. 41 sl. <https://hdl.handle.net/10568/134783>
10. Ramirez, J., Jarvis, A., Van den Bergh, I., Staver, C. & Turner, D.. 2011. Changing Climates: Effects on Growing Conditions for Banana and Plantain (Musa spp.) and Possible Responses. in Crop Adaptation to Climate Change (eds Yadav, S. S. et al.) 426–438 (Wiley-Blackwell). <https://doi.org/10.1002/9780470960929.ch29>
11. Calberto, G., Blake, D., Staver, C., Carvajal, C., & Brown, D.. 2018. The frequency and effects of weather events on banana productivity – results of a global survey. Acta Horticulturae. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1196.22>
12. Loeillet D.. 2023. European banana market - 2023 price review. Fruitrop (291) : 38-47. <https://www.fruitrop.com/en/Articles-by-subject/Economic-analyses/2024/European-banana-market-2023-price-review>

El reto del cambio climático para el sector bananero en América latina y el Caribe: arreglos institucionales para enfrentarlo

Jeimar Tapasco

Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, Cali – Colombia

***Autor de
Correspondencia:**
Jeimar Tapasco
j.tapasco@cgiar.org

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Cambio Climático y
Agrometeorología

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Tapasco J. 2024. El reto del
cambio climático para el
sector bananero en América
latina y el Caribe: arreglos
institucionales para
enfrentarlo. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 78
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2478](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2478)

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la NOAA (2024) la temperatura de la tierra ha aumentado en un promedio de 0,06 °C por década desde 1850, o alrededor de 1.11 °C en total. La tasa de calentamiento desde 1982 es más de tres veces más rápida: 0,2 °C por década. El año 2023 fue el más cálido desde que comenzaron los registros globales en 1850 por un amplio margen. Los 10 años más cálidos registrados históricamente ocurrieron en la última década (2014-2023).

Aunque la productividad agrícola a nivel mundial ha aumentado, el cambio climático ha ralentizado este crecimiento en los últimos 50 años (nivel de confianza medio), con impactos negativos relacionados en el rendimiento de los cultivos registrados principalmente en regiones de latitudes medias y bajas, y algunos impactos positivos en algunas regiones de latitud alta (nivel de confianza alto); igualmente hay cada vez más pruebas de mala adaptación en diversos sectores y regiones (IPCC, 2023).

Lo que viene para el clima y para las musáceas

El informe más reciente del IPCC indica que con un nivel de confianza alto se espera que los extremos climáticos sigan en aumento, al igual que la intensificación de la variabilidad del ciclo del agua (fenómenos meteorológicos y climáticos muy húmedos y muy secos). Se prevé que las olas de calor y las sequías sean más frecuentes, y que los riesgos climáticos y no climáticos interactuarán cada vez más, creando riesgos compuestos y en cascada que son más complejos y difíciles de gestionar (IPCC, 2023).

De acuerdo con un análisis realizado por Machovina y Feeley (2013) las zonas bananeras de sur y centro América perderán aptitud climática para el cultivo



exceptuando las zonas más al norte (México) y al sur (Ecuador), las cuales se verán favorecidas.

Falta información

Aunque la información existente nos da una idea básica y general de las tendencias, la verdad es que falta mucho por conocer. La agricultura es de nicho, y por lo tanto cada zona específica tiene particularidades de microclima, de manejo del cultivo, condiciones de suelo y presiones de plagas y enfermedades diferenciadas. En este sentido se requiere avanzar mucho más en la reducción de escala de los análisis que permita contar con información más detallada a nivel zonas, e incluso a nivel de finca para mejorar la toma de decisiones. Es necesario igualmente trabajar en entender mejor la variabilidad climática y extremos que, de acuerdo con el IPCC, ya son afectados por el cambio climático.

Necesitamos actuar

Aunque muchas veces demandamos más información y mayor certeza y precisión en los datos, la verdad es que pareciera que no sabemos que decisiones tomar con ellos. Desde hace más de diez años el IPCC venía advirtiendo sobre los riesgos asociados a los cambios del clima, pero solo hasta ahora se está prestando atención a lo que se viene presentando. Parte del problema es que los retos que enfrentan las empresas y productores son diversos, crecientes, dinámicos y permanentemente los tomadores de decisiones ocupan sus esfuerzos en los riesgos de corto plazo, en los problemas del día a día, y poco tiempo queda para pensar cómo prepararse para enfrentar los riesgos de mediano y corto plazo y, mucho más, cuando la incertidumbre es alta. Otro aspecto que dificulta el accionar de las empresas y productores, es cuando enfrentan retos que requieren una acción colectiva. Cada empresa o productor puede saber que hacer muy bien en los problemas que están bajo su control, o cuando el nivel de costo de la solución le permite actuar. En ocasiones las empresas y/o productores logran asociarse para enfrentar algunos riesgos, generalmente para incidir en aspectos de política pública que los favorezca o que eviten un perjuicio común frente acceso a mercados, pero algunos temas técnicos también demandan este tipo de acciones coordinadas que van más allá de las acciones individuales de cada empresa, por ejemplo, las amenazas del cambio climático y algunas enfermedades.

Arreglos institucionales para enfrentar problemas comunes

Es cierto que gran parte del desarrollo tecnológico se puede privatizar (p ej. maquinaria) y funciona bajo la lógica del mercado sin mayores contratiempos. Allí las empresas privadas realizan inversiones no sólo en la producción del bien o servicio (para nuestro ejemplo la maquinaria), pero también invierten en nuevos desarrollos tecnológicos, que les permitirán estar en la vanguardia tecnológica, pero también en ventas. Estas empresas saben o apuestan a que sus inversiones regresaran acompañadas de un margen de ganancia, mientras que el productor comprara dicha tecnología porque vendrá acompañada de un beneficio en eficiencia en sus procesos de producción que redundará en un mayor retorno. No obstante, hay temas de investigación con alta incertidumbre que aumentan los riesgos de las inversiones y en los cuales poco se adelanta trabajo o con la esperanza que se pueda cubrir con recursos públicos; o soluciones que pasan por economías de escala como plataformas de servicios climáticos o big data, que funcionan con grandes volúmenes de datos, pero que tienen que brindar información precisa y oportuna a nivel de predio (Jiménez et al., 2019; Young and Verhulst, 2017; Sotelo et al. 2020).

En estos casos se requiere una acción articulada que permita que los costos de estas inversiones puedan ser cubiertas con una bolsa de recursos privados, públicos y seguro con algo de apoyo de cooperación. Parte de reto es lograr un acuerdo en el sector privado en la necesidad de inversión para su propio beneficio, en garantizar la confidencialidad de sus datos, y en los acuerdos que deben establecerse en la participación y distribución de los beneficios.

En Colombia se cuenta con el proyecto CSICAP, aprobado por el fondo verde del clima, con una participación importante del sector público y privado que es la gran apuesta del sector agropecuario al cambio climático. El proyecto trabajará en ocho cultivos y ganadería, en los que se encuentra plátano y banano, y contará con socios estratégicos como AUGURA, ASBAMA, ASOHOFrucol (gremios del sector productor), La Alianza Bioversity CIAT (organismo internacional de investigación), Agrosavia (entidad de investigación pública descentralizada), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, CAF -banco de desarrollo de América Latina, Fondo Verde del Clima.

Gran parte del éxito de este proyecto estará en la capacidad que tengan las instituciones de trabajar articuladamente y respetando los roles y responsabilidades que se han planificado en el marco del proyecto. Este proyecto será referente para toda América Latina y el Caribe.

REFERENCIAS

1. NOAA National Centers for Environmental Information, Monthly Global Climate Report for Annual 2023, published online January 2024, retrieved on January 28, 2024 from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>.
2. IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-97892916916473.
3. Machovina, Brian & Feeley, Kenneth J., 2013. "Climate change driven shifts in the extent and location of areas suitable for export banana production," *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 95(C), pages 83-95.
4. Daniel Jiménez, Sylvain Delerce, Hugo Dorado, James Cock, Luis Armando Muñoz, Alejandro Agamez, Andy Jarvis. A scalable scheme to implement data-driven agriculture for small-scale farmers. *Global Food Security* Volume 23, December 2019, Pages 256-266.
5. Young, Andrew and Verhulst, Stefaan. 2017. *ACLÍMATE COLOMBIA Open Data to Improve Agricultural Resiliency*, USAID, *Open Data in Developing Economies: Toward Building an Evidence Base on What Works and How*.
6. Steven Sotelo, Edward Guevara, Lizeth Llanos-Herrera, Diego Agudelo, Alejandra Esquivel, Jeferson Rodriguez, Leonardo Ordoñez, Jeison Mesa, Luis Armando Muñoz Borja, Fanny Howland, Sebastian Amariles, Alexander Rojas, Jhon Jairo Valencia, Cristian Camilo Segura, Freddy Grajales, Francisco Hernández, Fabián Cote, Enrique Saavedra, Franklyn Ruiz, Julieta Serna, Daniel Jimenez, Jeimar Tapasco, Steven D. Prager, Pete Epanchin, Julian Ramirez-Villegas,
7. Sotelo, Steven, Edward Guevara, Lizeth Llanos-Herrera, Diego Agudelo, Alejandra Esquivel, Jeferson Rodriguez, Leonardo Ordoñez, Jeison Mesa, Luis Armando Muñoz Borja, Fanny Howland, Sebastian Amariles, Alexander Rojas, Jhon Jairo Valencia, Cristian Camilo Segura, Freddy Grajales, Francisco Hernández, Fabián Cote, Enrique Saavedra, Franklyn Ruiz, Julieta Serna, Daniel Jimenez, Jeimar Tapasco, Steven D. Prager, Pete Epanchin, Julian Ramirez-Villegas, *Pronosticos AClimateColombia: A system for the provision of information for climate risk reduction in Colombia*. 2020. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 174, July 2020, 105486. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105486>.

Mitigando el impacto climático en la industria bananera: la herramienta de medición de huellas de carbono y agua del foro mundial bananero de la FAO

Matheus Cardim F Lima¹; Victor Prada¹

¹Secretaría del Foro Mundial Bananero, División de Mercados y Comercio, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia.

**Autor de*

Correspondencia:

Matheus Cardim F Lima;
Victor Prada
Matheus.lima@fao.org;
Victor.prada@fao.org

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Cambio Climático y
Agrometeorología

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Cardim FLM y Prada. 2024.
Mitigando el impacto
climático en la industria
bananera: la herramienta de
medición de huellas de
carbono y agua del foro
mundial bananero de la
FAO. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
79
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2479](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2479)

RESUMEN

Este resumen discute los impactos multifacéticos del cambio climático en la industria bananera y presenta el Proyecto Huella de Carbono y Agua y la Herramienta de Medición de Huellas de Carbono y Agua (CWF) del Foro Mundial Bananero de la FAO como una solución innovadora para la medición automática y precisa del impacto climático de la producción bananera.

Palabras clave: Innovación, Clima.

INTRODUCCIÓN

La industria bananera, un pilar económico y alimentario en muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo, enfrenta hoy desafíos sin precedentes debido a los impactos del cambio climático. Los efectos adversos de este fenómeno global se manifiestan en alteraciones de los ciclos de producción, variabilidad en las precipitaciones, aumento de la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos, y la emergencia de nuevas plagas y enfermedades. Estos cambios amenazan la sostenibilidad de la producción a largo plazo poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y económica de comunidades dependientes de esta industria (FAO, 2016; Varma y Bebbber, 2019; Noleppa et al. 2020).

Ante este escenario, es imperativo adoptar herramientas y estrategias que permitan una gestión efectiva de los recursos y una mitigación adecuada de los impactos (FAO, 2016). En este contexto, el Proyecto de Medición y Reducción de Huellas de Carbono y Agua del Foro Mundial Bananero (FMB) de la FAO busca fomentar la adopción de estrategias bajas en carbono y la gestión eficiente del agua en la cadena de valor del banano mediante una metodología y herramienta estandarizada y adaptada a la industria.



Herramienta CWF del FMB/FAO: Una Solución Innovadora

A pesar del creciente interés de los consumidores por conocer el impacto climático de la producción de banano, la industria carecía de un método estandarizado y validado para cuantificar e informar sus emisiones de gases de efecto invernadero, así como el uso e impacto en los recursos hídricos por parte de las compañías que producen y comercializan esta fruta.

Con el objetivo de llenar este vacío, el FMB implementó el Proyecto de Medición y Reducción de Huellas de Carbono y Agua que desarrolló con el apoyo de la Cooperación Alemana (GIZ) una metodología única y específica para medir las huellas de carbono y agua de los sistemas de producción bananera. La Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera desarrollada con el apoyo de actores claves de la industria bananera se basó en con los lineamientos del Panel Intergubernamental en Cambio Climático, El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero, la ISO 14064, y la ISO 14046 (Chaverri et al., 2018). Como seguimiento al proyecto, la FAO desarrolló una herramienta automática basada en la web para apoyar productores en la medición automática de las huellas de carbono y agua de sus organizaciones (FAO 2023).

La FAO con el apoyo de Gestarse, Universidad Castilla la Mancha y El Laboratorio de Metrología de Costa Rica, lanzó la versión actual de la herramienta CWF 2.0 que ha sido actualizada en su estructura, características, y diseño, incrementando su velocidad, poder computacional, personalización, automatización, precisión y sencillez para el usuario. Las actualizaciones en la herramienta fueron basadas en la retroalimentación de los productores usuarios de la herramienta. La versión actual fue piloteada y validada en siete países de América Latina y el Caribe.

La herramienta calcula el CO₂ equivalente de las emisiones (o remociones) segregados por los módulos de acuerdo con las diferentes fuentes de emisión: electricidad, equipos estacionarios de combustión, combustión móvil, productos de mantenimiento, refrigeración, fertilizantes, residuos, tracción animal, cambio del uso de tierra y reservas de carbono en el suelo. Además, la herramienta puede cuantificar la huella de agua basado en el consumo e impactos asociados con la escasez, toxicidad humana, ecotoxicidad y eutrofización.

La Herramienta CWF se muestra como una plataforma importante para las empresas bananeras que buscan la carbono neutralidad o alinearse con las normativas

europas como la Directiva Europea de Información de Sostenibilidad Corporativa y la Directiva Europea de Diligencia Debida de las Empresas en Materia de Sostenibilidad, al proporcionar transparencia y precisión en el reporte de emisiones de GEI y huella de agua, aspectos críticos para establecer y cumplir con las nuevas directrices ambientales que afectan las cadenas de valor.

Al identificar áreas críticas de emisión y mejorar la gestión de recursos, las empresas pueden desarrollar estrategias efectivas que no solo cumplan con las regulaciones, sino que también sigan las mejores prácticas para la mitigación del cambio climático. Esto les permite tomar decisiones informadas, involucrar a *stakeholders* y mejorar su posición competitiva, asegurando una gestión ambiental en línea con los objetivos globales de reducción de emisiones y de sostenibilidad ambiental.

Mitigación del Cambio Climático y Reducción de Huellas Ambientales en la Industria Bananera

Durante los últimos dos años, la Secretaría del Foro Mundial Bananero de la FAO ha emprendido una iniciativa integral de capacitación en las principales regiones productoras y exportadoras de banano de Colombia y Ecuador, dos países que representan una parte significativa de la exportación mundial de banano. En este programa, más de 150 técnicos han participado en las capacitaciones adquiriendo conocimientos sobre aspectos relacionados al cambio climático y la aplicación efectiva de la Herramienta de Medición de Huellas de Agua y Carbono (FAO, 2023).

Algunas de las medidas para mitigación de impactos y reducción de huellas identificadas durante la implementación del proyecto incluyen la optimización en el uso de fertilizantes nitrogenados, aplicando-os en la dosis y tiempo correctos, uso de fertilizantes biológicos y de lenta liberación para reducir pérdidas por lixiviación y volatilización, gestión integrada de residuos e transformación de residuos orgánicos en compost, mantenimiento de equipos, cambio de bombas de riego a diésel por bombas eléctricas, reducción de la profundidad de las pilas de lavado de fruta, uso de agentes anti floculantes, instalación de plantas de recirculación de agua, instalación de paneles solares, uso de fertirriego, automatización del riego con bases a sensores y electroválvulas, elección de productos fitosanitarios con baja ecotoxicidad y toxicidad humana, uso de drones para fumigación y control de fuga de gases refrigerantes, así como una serie de otras medidas (Chaverri et al., 2018; WBF, 2016; WBF 2017).

Es crucial subrayar la relevancia de la adopción de buenas prácticas agrícolas y de un manejo sostenible del suelo. Estas acciones no solo enriquecen la biodiversidad del suelo y previenen su erosión, sino que también potencian su capacidad de secuestrar y almacenar carbono. Además, estas medidas complementan eficazmente los proyectos de reforestación en zonas anteriormente deterioradas y en áreas cercanas a cuerpos de agua, como ríos y canales. Tal enfoque integrado es fundamental para capturar carbono y mitigar significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las actividades de las empresas productoras de banano reduciendo así su huella de carbono y su impacto climático.

CONCLUSIONES

La Herramienta CWF se posiciona como una plataforma avanzada para el monitoreo, reporte y verificación de indicadores ambientales clave de la industria bananera. Su implementación permite un análisis detallado y profundo de los puntos críticos en la emisión de GEI y uso de los recursos hídricos, apoyando una gestión ambiental estratégica y proactiva, en consonancia con los objetivos de reducción de impacto climático y con las legislaciones ambientales. Además, su capacidad para generar datos precisos y consistentes hace de la Herramienta CWF un pilar clave para satisfacer las normativas y regulaciones ambientales presentes y futuras, fortaleciendo la competitividad de las empresas en un panorama comercial que valora cada vez más la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental.

REFERENCIAS

1. Chaverri, A. L. V., Solís, M. A. V., Fernández, J. N., & Zamora, L. A. G. (2017). Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera.
2. FAO (2016). Ecuador's Banana Sector Under Climate Change – An economic and biophysical assessment to promote a sustainable and climate-compatible strategy.
3. FAO (2023). Report of the Twenty-Fifth Meeting of the World Banana Forum Steering Committee (SC25)
4. FAO (2023). Herramienta para la medición de las huellas de carbono y agua. *Disponible en línea:* <https://wbfwfwf.apps.fao.org/>
5. Noleppa, S., Gornott, C., Lüttringhaus, A. S., Hackenberg, I., & Gleixner, S. (2020). Climate change and its effects on banana production in Colombia, Costa Rica, the Dominican Republic, and Ecuador.
6. Varma, V., & Bebbler, D. P. (2019). Climate change impacts on banana yields around the world. *Nature Climate Change*, 9(10), 752-757.
7. WBF (2016). Carbon Footprint of the Banana Supply Chain.
8. WBF (2017). Water Footprint of the Banana Industry.

Good practices and use of fertilizers to reduce the carbon footprint in the banana industry

Ulrike Lebender¹, Frank Brentrup¹

¹Institute of Plant Nutrition and Environmental Research, Yara International ASA, Duermen, Germany.

***Autor de Correspondencia:**

Ulrike Lebender
ulrike.lebender@yara.com

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Cambio Climático y
Agrometeorología

Recibido:
15 Diciembre, 2023
Aceptado:
15 Enero, 2024
Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Lebender U and Brentrup F.
2024. Good practices and
use of fertilizers to reduce
the carbon footprint in the
banana industry. *Acorbat
Revista de Tecnología y
Ciencia* 1(1): 80
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2480](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2480)

Agriculture is responsible for 10% to 12% of the total global greenhouse gas (GHG) emissions (Smith et al., 2007). The overall levels of GHG emissions from agriculture is expected to increase further due to the need to expand agricultural production to meet the growing demand for food, feed, fibre, and bioenergy.

The awareness of the impact of climate change and the growing demand from consumers for more sustainable products has led companies to include sustainability as an important criterion for evaluation of their clients and investors.

The need to mitigate climate change has led many food companies (FC) to publish emission reduction targets towards climate neutrality e.g. within the Science-Based Target initiative (SBTi framework). They are investing heavily in initiatives to bring them closer achieving these goals. Such goals can be consulted in the company's sustainability reports. To monitor the achievements of such goals life cycle analysis (LCA) and carbon footprinting is used to guide challenging decisions and select between technology paths (McManus and Taylor, 2015).

The concept of carbon footprinting follows the life cycle assessment methodology, i.e., it accounts for all GHG emissions that are related to a product over its life cycle. The general boundaries of the life cycle of a product are from “cradle-to-grave,” which means from the extraction and supply of raw materials needed for the product under investigation up to the final disposal of the product after it has completed its life cycle as waste. However, in practice the boundaries of a product carbon footprint (PCF) analysis are often set narrower, for instance from “cradle-to-factory-gate” or from “cradle-to-farm-gate.”

For PCF analysis of agricultural products, the boundary of “cradle-to-farm-gate” is often applied. This provides valuable information about the climate impact of agricultural products and allows farmers to optimize agricultural practices in order to provide low-carbon agricultural products to their customers.



Banana is one of the most exported fruits being Latin America and the Caribbean (LAC) the world’s leading exporting region (FAO, 2023), a staple starch crop for millions, and an important source of income for producers across the tropics and subtropics. The carbon footprint of the banana industry is spread across the entire value chain, which can be divided into several steps (Figure 1). Carbon footprint boundary settings can be defined for instance up to the farm gate (“cradle-to-gate”) or up to the final consumer (“cradle-to-grave”), depending on the scope of interest. Therefore, it is important that these boundaries are clearly defined, include all emissions relating to the activity and the boundaries established and ensure transparent communication of appropriate information to the interested parties (GHG Protocol). Carbon footprint calculations will also allow banana stakeholders to evaluate their environmental performance under varying conditions and to identify scope for mitigating greenhouse gas emissions.

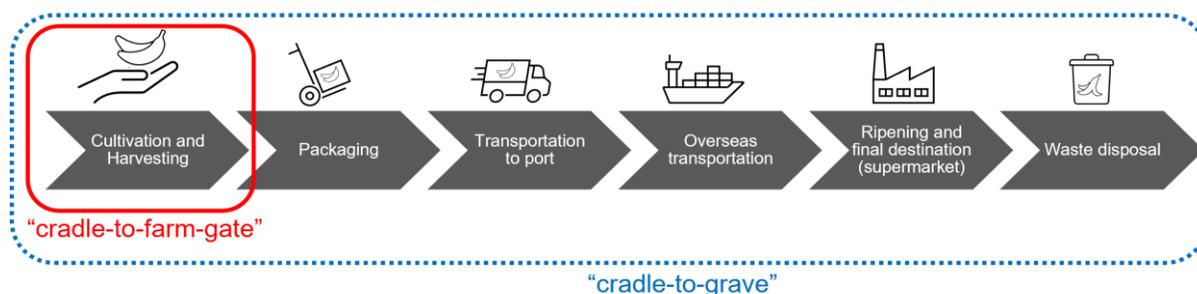


Figure 1. Stages in the banana value chain with the focus of primary production (“Cultivation and Harvesting”) – “cradle-to-farm-gate”.

Despite bananas being an important product, only few carbon footprint analyses have been published and the results vary depending on the methodology (e.g. boundary setting), and data used. Although different boundaries have been defined, most banana carbon footprint studies have identified maritime transport (including refrigerants) as the main contributor to GHG emissions in the banana supply chain (FAO, 2017). The magnitude of the transport emissions depends on the distance travelled by ship and by truck, how well logistics are optimized and what kind of refrigerants are used. Fertilizer production and the use of fertilizers was identified as the second main GHG contributor to the banana supply chain.

As previously mentioned only few carbon footprint analyses have been published for the banana supply chain, even less of them reported the GHG emissions from fertilizer production and application separately.

The comparison of carbon footprints from five different studies (“cradle to farm-gate”) shown in Figure 2 illustrates the reported contributions of fertilizer production and fertilizer application (soil emission) to total farm gate emissions.

The studies analyze the cultivation and harvesting of banana in Costa Rica (Svanes & Aronsson (2013), Soil & More (2010)) and Ecuador (Veliz et al. (2022), Roibas et al. (2015), Iriarte et al. (2014)). Across these studies, the farm-gate carbon footprints range from 0.14-0.3 kg CO₂e kg⁻¹ banana with a contribution of the fertilizer production accounting for 15%-36% of emissions from cultivation (average: 23%). The energy use accounts for an average of 15% of all on-farm emissions.

The main hotspot identified within the boundary setting “cradle-to-farm-gate” are the soil emissions with an average of 43% of all on-farm emissions. Fertilizers are used in banana plantation to provide its essential nutrients, aiding in its growth and productivity. However, fertilizers, mainly nitrogen (N) fertilizers, can contribute to greenhouse gas emissions during their production, transportation to the application sites and due to the release of nitrous oxide (N₂O) emissions from soils after application (Brenttrup et al., 2018).

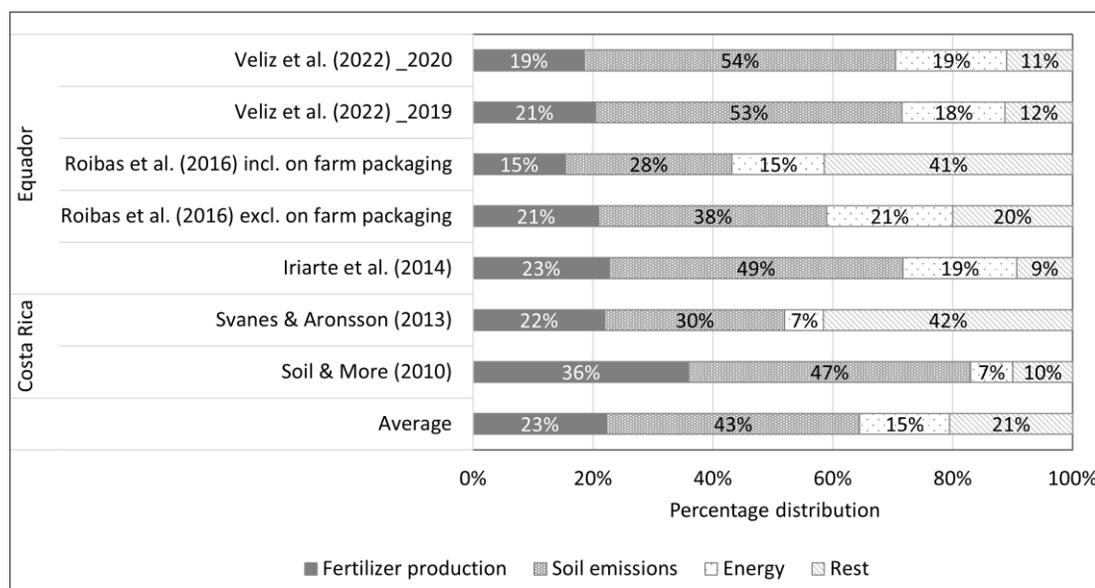


Figure 2. Comparison of carbon footprints from different studies (“cradle to farmgate”) and their contribution to the carbon footprint of banana cultivation.

To meet the expected surge in food demand due to the anticipated growth of the global population agricultural production needs to increase on existing land by increasing the yield per unit of area. However, current agriculture needs to go hand in

hand with sustainable agriculture, with the aim of reducing the possible side effects that the use of agricultural inputs can cause to our planet due to production of greenhouse gases.

The use of the 4R's framework for fertilizer use (right rate, right place, right source, and right time (<https://nutrientstewardship.org/4rs/benefits-using-4rs/>) and nutrient optimization are important because they increase nutrient use efficiency and affect the crop performance as farmers must follow recommendations according to crop, environmental conditions, and product availability. But quite often, food producers define good practices based solely on their on-farm activities. As agriculture relies also on input supply, improvements in the industrial processes for input production, such as fertilizers are also important in helping farmers to reduce their carbon footprint by decarbonising their input supply.

REFERENCIAS

1. Smith et al. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007.
2. McManus et al. (2015). The changing nature of life cycle assessment. *Biomass and Bioenergy*, v. 82, p. 13-26, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.024>
3. FAO (2023). *Banana Market Review - Preliminary results 2023*. Rome.
4. FAO (2017). *World Banana Forum, Carbon Footprint of the banana supply chain*, <https://www.fao.org/3/i6842e/i6842e.pdf>
5. GHG Protocol: *Product life cycle accounting and reporting standard*. Washington DC, 2011. Accessed via: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf
6. Iriarte et al. (2014). Carbon footprint of premium quality export bananas: case study in Ecuador, the world's largest exporter. *Science of the Total Environment* 472, 1082-1088.
7. Roibas et al. (2015). Evaluating the sustainability of Ecuadorian bananas: carbon footprint, water usage and wealth distribution along the supply chain. *Sustainable Production and Consumption* 2, 3-16.
8. Soil & More (2010). <http://dolecrs.com/uploads/2012/06/Soil-More-Carbon-Footprint-Assessment.pdf>.
9. Svanes & Aronsson (2013). Carbon footprint of a Cavendish banana supply chain. *Int J LCA*, doi: <https://10.1007/s11367-013-0602-4>.
10. Veliz et al. (2022). The Environmental Profile of Ecuadorian Export Banana: A Life Cycle Assessment. *Foods* **2022**, *11*, 3288. <https://doi.org/10.3390/foods11203288>
11. Brentrup et al. (2018). Updated carbon footprint values for mineral fertilizer from different world regions. In: *International Conference on Life Cycle Assessment of Food (LCA Food 2018)*, 11. 2018, Bangkok.
12. 4R Nutrient Stewardship: <https://nutrientstewardship.org/4rs/benefits-using-4rs/>
13. (Accessed: 2024-01-10)

Actualidades en el manejo integrado de sigatoka negra en banano

Mario Orozco-Santos

Campo Experimental Tecomán. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México.

*Autor de

Correspondencia:

Mario Orozco-Santos
orozco.mario@inifap.gob.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Orozco-Santos M. 2024.
Actualidades en el manejo
integrado de sigatoka negra
en banano. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 81
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2481](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2481)



INTRODUCCIÓN

La sigatoka negra o raya negra es la enfermedad más importante que afecta el follaje del cultivo del banano en el mundo (Guzmán *et al.*, 2018). Desde su llegada al continente americano hace un poco más de 50 años, ha sido un problema creciente en todos los países productores de musáceas, debido a las características inherentes del patógeno (ascomiceto, hemibiotrófico con reproducción sexual y asexual). Su gran capacidad evolutiva (mutaciones y/o recombinaciones sexuales) ha provocado una mayor virulencia y una mejor adaptación a las regiones con ambiente tropical (húmedo, subhúmedo y seco) y subtropical (Orozco-Santos *et al.*, 2013; Guzmán *et al.*, 2018). Tanto los anamorfos como los teleomorfos están presentes en las hojas infectadas; sin embargo, las ascosporas producidas durante la etapa sexual desempeñan un papel importante en la epidemiología de la enfermedad (Marin *et al.*, 2003). El control de sigatoka negra está basado principalmente en el control químico y en menor proporción en un control alternativo (aceites, biológicos, extractos vegetales e inductores de resistencia), siempre apoyados con el uso de prácticas culturales (Orozco-Santos *et al.*, 2008). En este trabajo se presenta información sobre manejo integrado de sigatoka negra, haciendo énfasis en control cultural, control químico y alternativas amigables. Asimismo, se hace referencia al uso de mancozeb como parte fundamental en el manejo actual de la enfermedad. No obstante, el futuro de este ingrediente activo es incierto, por posibles restricciones en algunos países importadores (mercados internacionales), por lo que es prioritario la búsqueda de alternativas para reducir su uso e en su caso substituir esta molécula.

El patosistema

El patosistema sigatoka negra está integrado por cuatro componentes principales: **1)** Los hospederos económicamente importantes son los bananos y plátanos y los daños de la enfermedad dependen del grupo genómico y los cultivares. La mayoría de las variedades de banano del subgrupo Cavendish son altamente susceptibles (Guzmán *et al.*, 2018). La severidad de sigatoka negra se magnifica en un sistema agrícola como el de las musáceas, en el cual la propagación vegetativa

(reproducción asexual) y el cultivo en grandes extensiones de tierra de una variedad/cultivar genéticamente uniforme, lo hacen altamente vulnerable a ataques epidémicos de la enfermedad. **2)** El agente causal presenta en su ciclo de vida un estado teleomorfo o sexual y un estado anamorfo o asexual. El hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet es el teleomorfo, mientras que *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) Deighton es el anamorfo (Mulder & Stover, 1976; Marín *et al.*, 2003). *M. fijiensis* produce ascosporas en el interior de pseudotecios sobre lesiones maduras y representan la principal fuente de inóculo de la enfermedad. En cambio, *P. fijiensis* forma conidios en lesiones jóvenes (Marín *et al.*, 2003). **3)** El clima es un factor importante para el patosistema, al ser un regulador de los procesos biológicos del hospedero y del patógeno. Las precipitaciones elevadas y constantes, así como las temperaturas alrededor de 26-28 °C poseen un marcado efecto sobre los procesos de infección, germinación, penetración del patógeno y liberación de inóculo, mientras que el viento favorece su diseminación. **4)** Finalmente, el hombre forma parte del patosistema al tomar decisiones sobre el uso de determinado cultivar, sistema de producción, manejo del hospedero y métodos de control de sigatoka negra.

Manejo integrado

El manejo integrado de sigatoka negra en banano contempla el uso de diferentes métodos de control (cultural, químico y alternativas amigables) apoyado por el conocimiento del cultivar/variedad de banano o plátano (susceptibilidad a la enfermedad, fenología, interacción con el patógeno, órganos afectados y edad de las plantas); del patógeno/enfermedad (especie del hongo, tipo de reproducción, estructura genética, diseminación, fuente de inóculo, sobrevivencia, período de incubación y ciclo de la enfermedad) y clima (cantidad y distribución de la precipitación, temperatura, rocío, radiación solar, nubosidad y humedad relativa) (Orozco-Santos *et al.*, 2013; Guzmán *et al.*, 2013).

Control cultural. Las prácticas de cultivo son una parte importante en el manejo integrado de la enfermedad. Esta herramienta está orientada a reducir las condiciones favorables para el establecimiento y desarrollo del patógeno, inducir el vigor de las plantas, establecer barreras físicas y/o eliminar fuentes de inóculo dentro de la plantación (Orozco-Santos *et al.*, 2008). En el caso del patosistema banano-sigatoka negra, el control cultural es una parte fundamental en el manejo de la enfermedad (Marín y Romero, 1992; Orozco-Santos *et al.*, 2008). Se han sugerido numerosas prácticas de cultivo dentro de un programa de manejo integrado de la enfermedad, como es el caso de la remoción de hojas afectadas o porciones de éstas (cirugía), poda

temprana; la aplicación de urea y desecantes para acelerar su descomposición, así como la eliminación rápida de plantas cosechadas. Adicionalmente, otros componentes del manejo agronómico del cultivo ayudan a reducir las condiciones favorables (humedad) para el desarrollo de la sigatoka negra e incrementar el vigor de las plantas: manejo de la densidad de plantación, deshierbe, sistemas de drenaje, métodos de riego, control de maleza, fertilización química, fertilización biológica (micorrizas y bacterias del género *Azospirillum*), control de plagas y nemátodos (Marín y Romero, 1992; Marín *et al.*, 2003; Orozco-Santos *et al.*, 2008). Una práctica alternativa es el “minicomposteo”, que consiste en colocar la hojarasca en pequeños montones para su rápida degradación, lo cual permite reducir el inóculo e incorporar nutrientes al suelo (Orozco-Santos *et al.*, 2008). Además, es importante monitorear periódicamente la plantación para conocer el comportamiento de la enfermedad (incidencia, severidad y/o estado evolutivo) y obtener información que auxilie en la toma de decisiones (Marín y Romero, 1992; Orozco-Santos *et al.*, 2013).

Control químico y alternativo. El control químico es la herramienta más usada para el combate de las enfermedades de sigatoka en todos los países productores de banano. El número de aplicaciones varía de acuerdo a las condiciones climáticas de cada zona de producción. Contra sigatoka negra en México, varía desde 35 a 40 en el trópico seco hasta 45 a 52 aplicaciones por año en el trópico húmedo y subhúmedo. En Ecuador de 30 (zona sur) a 44 ciclos de aspersion (zona norte), Costa Rica de 40 a 52, Guatemala de 52 a 65 y Colombia de 30 a 35 aplicaciones en plantaciones de cultivo orgánico en la costa norte (La Guajira, Magdalena y Cesar) y 52 ciclos en promedio en el Urabá. En Brasil, en las áreas subtropicales fluctúa de 6 a 8 en el estado de Santa Catarina y de 10 a 12 en el Valle de Riviera, São Paulo. En el norte del estado de Minas Gerais, se requieren de 6 a 8 aplicaciones contra sigatoka amarilla (sigatoka negra no está presente). En plantaciones con manejo convencional, se utilizan fungicidas de contacto o protectantes (mancozeb y otras moléculas) y en menor proporción productos sistémicos. Ocasionalmente se incluyen algunos productos biológicos (*Bacillus* y extractos vegetales) y aceites minerales. El elevado número de ciclos de aspersion de fungicidas ha generado pérdida de sensibilidad del hongo a diferentes ingredientes activos de acción sistémica en algunos países (FRAC, 2023), así como problemas de contaminación ambiental y de salud humana. Los fungicidas más comúnmente usados de acuerdo a FRAC (2023) son: 1) Inhibidores de la demetilación (DMIs: difenoconazole, epoxiconazole, fenbuconazole, flutriafol, metconazole, propiconazole, tebuconazole, tetraconazole y triadimenol); 2) Amines (spiroxamine, fenpropimorph, fenpropidin y tridemorph); 3) Inhibidores QO (QoIs: azoxystrobin, pyraclostrobin y trifloxystrobin) e Inhibidores QI (QiIs: fenpicoxamid, florylpicoxamid); 4) Anilinyrimidines (Aps: Pyrimethanil); 5) Benzimidazoles (BCMs: benomyl,

carbendazim, thiophanate, and thiophanate-methyl); 6) Toluamides (Zoxamide); 7) Inhibidores SDH (SDHIs: boscalid, fluopyram, fluxapyroxad, and isopyrazam); 8) Guanidines (dodine); 9) N-Phenylcarbamates (Diethofencarb), 9) fungicidas multisitio (mancozeb, clorotalonil, propineb, thiram, metiram, entre otros), 10) biológicos (*Bacillus amyloloquefaciens* (sinónimo de *B. subtilis* y *Melaleuca alternifolia*) y 11) inductores de defensa de las plantas (acibenzolar-S-methyl e isotianil).

Uso de mancozeb y alternativas. El mancozeb pertenece al grupo de los ditiocarbamatos y es la molécula más utilizada en los programas de control químico contra sigatoka negra en la mayoría de los países productores de banano. Las razones más importantes de su amplia aceptación y uso son: una buena efectividad contra el patógeno, tiene actividad multisitio y por lo tanto bajo riesgo de resistencia, es compatible con otros productos usados en la mezcla en tanque (fungicidas, insecticidas, aceites, fertilizantes foliares, etc.), es factible aplicarse en “cocteles” con otros fungicidas, sin límite de aplicaciones, es la base del programa de control y es una herramienta esencial en una estrategia antiresistencia. Sin embargo, en los últimos años su uso ha sido cuestionado sobre sus posibles efectos negativos en la salud humana, en el medio ambiente, los efectos adversos en la vida acuática y la persistencia en el suelo, lo que puede afectar la actividad microbiana y la descomposición de la materia orgánica. El número de aplicaciones de mancozeb es variado en los diferentes países. En general se usa desde 20 hasta 52 ciclos. Existen casos de fincas con uso exclusivo de este producto, sumando hasta 52 aplicaciones por año (una aplicación semanal), lo que significa más de 80 kg de ingrediente activo por hectárea por año. A partir del año 2021, la Unión Europea prohibió el uso de mancozeb en la agricultura en todos los países que integran esta comunidad, independientemente del límite máximo de residuos (Comisión de la Unión Europea, 2022).

En la actualidad, existe preocupación en los países productores y exportadores de bananos y plátanos por la posible adopción de esta medida por otros países importadores de fruta. Además, que la restricción del mancozeb en el futuro sea aplicada a los cultivos tratados con este fungicida (en este caso banano) en los países productores y que la fruta no pueda ingresar a la Comunidad Europea. La búsqueda y adopción de herramientas alternativas al mancozeb, es una prioridad en el manejo de sigatoka negra. Diversos estudios han demostrado la efectividad de ciertos productos que pueden ser incorporados en un programa de manejo de la enfermedad, entre los que se pueden mencionar: biológicos, extractos vegetales, aceites, inductores de resistencia, cobres, azufres, silicio y otros ditiocarbamatos. Thiram y Clorotalonil son efectivos para el control de la enfermedad; sin embargo, al igual que el mancozeb no están autorizados por la Unión Europea.

La sigatoka negra sigue siendo la enfermedad más importante que afecta el follaje del cultivo de banano en el Continente Americano. Actualmente, se encuentra en todos los países productores (excepto Argentina, Paraguay y norte del estado de Minas Gerais, Brasil) y la estrategia de manejo ha sido la convivencia con el patógeno, utilizando medidas de control cultural y control químico. El uso de fungicidas con diferentes modos de acción y su alternancia es la estrategia más eficiente para reducir los riesgos de desarrollo de resistencia. No obstante, las recomendaciones de la FRAC, en la actualidad existen muchos casos de pérdida de efectividad de diferentes moléculas como los triazoles, benzimidazoles, estrobilurinas y SDHIs (FRAC, 2023). Una herramienta importante en el manejo de la enfermedad es el uso de sistemas de muestreo (Stover modificado, preaviso biológico u otro), lo cual ayuda a la toma de decisiones de cuándo y que aplicar, permitiendo eficientar su control al reducir el número de aplicaciones por año. El fungicida mancozeb es parte fundamental en el manejo de la enfermedad, pero su futuro es incierto por las posibles restricciones de su uso. Existen alternativas disponibles en el mercado con resultados variables de control de sigatoka negra, tomado como referencia al mancozeb.

Los biológicos a base de *B. amyloloquefaciens* y *M. alternifolia* ya están siendo utilizados en los programas de control en algunas zonas productoras. Otros extractos vegetales están en evaluación (*Mimosa tenuiflora*, *Cinnamomum zeylanicum*, entre otros). Asimismo, los aceites poseen efecto fungistático y permiten una distribución homogénea de la emulsión sobre las hojas de banano, así como una mayor resistencia de los fungicidas a ser lavado por las lluvias cuando se aplica en mezcla. El inductor de defensas en la planta acibenzolar-S-methyl ha estado disponible en el mercado desde hace mucho tiempo y más recientemente se ha sumado el isotianil, el cual presenta una buena efectividad contra la enfermedad. Otros inductores de resistencia a base de cobre, zinc y ácido cítrico están siendo evaluados con resultados promisorios. Los fungicidas a base de cobre representan una alternativa viable para el control de sigatoka negra. Existen numerosos reportes de la efectividad de diferentes compuestos cúpricos sobre la enfermedad. También, existen evidencias de reducción de la severidad de sigatoka negra con aplicaciones de azufre y silicio. Estos tres productos son alternativas promisorias para el control de la enfermedad y adicionalmente tienen efectos benéficos en las plantas como micronutriente o bien en la mejora del crecimiento y la productividad del banano. Sin embargo, es conocido que las aplicaciones frecuentes de estos elementos ocasionan su acumulación en el suelo, lo cual puede tener efectos negativos en el cultivo. Por esta razón, se requiere seguir investigando sobre el manejo óptimo de estos productos para integrarlos en un programa de manejo de sigatoka negra. Es importante conocer el número máximo de aplicaciones anuales tanto de los

diferentes compuestos cúpricos, como del azufre y el silicio que no provoquen problemas de acumulación en el suelo. En el futuro, considerando la probable restricción del mancozeb, se requiere contar con un programa alternativo y sostenible de manejo de sigatoka negra, que integre aplicaciones de fungicidas sistémicos y protectantes (otros ditiocarbamatos), biológicos (microbiales y extractos vegetales), inductores de defensa en la planta, cobre, azufre y silicio. Todo esto, apoyado con las prácticas de cultivo orientadas a la reducción de fuentes de inóculo y de condiciones favorables para *P. fijiensis*, así como tener un cultivo bien nutrido y vigoroso.

Finalmente, como lo señala De Lapeyre *et al.*, (2021) no descartar en el futuro el cambio varietal. En la actualidad, existen variedades con tolerancia o resistencia a sigatoka negra que han sido generadas por métodos convencionales. Desafortunadamente, es un desafío complicado competir con el banano más consumido en el mundo (Cavendish), considerando que todos los eslabones de la cadena en los países productores y exportadores están diseñados para producir y comercializar estas variedades. No estamos lejos de que el viejo adagio se pueda cumplir: “*en el futuro será más fácil cambiar paladares que controlar sigatoka negra*”.

Agradecimientos. Un sincero agradecimiento a las siguientes personas que proporcionaron información de sigatoka negra de sus respectivos países. Rafael Segura y Edgar Valverde Anaya de CORBANA-Costa Rica; Lucas Trevisan de ASBANCO-Brasil; Marie de León de la Asociación de Productores Independientes de Guatemala (APIB); Wilson Da Silva Moraes, SFAP, MAPA, Brasil; Ricardo Muñoz Valverde. Consultor independiente. Ecuador; Sebastián Zapata de CENIBANANO-Colombia.

REFERENCIAS

1. Brühl, C.A., Arias, A.M., Echeverría-Saenz, S., Bundschuh, M., Knäbel, A., Mena, F., Petschick, L.L., Ruepert, C. and Stehle, S. 2023. Pesticide use in banana plantations in Costa Rica – A review of environmental and human exposure, effects and potential risks. *Environmental International* 174. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.10787>.
2. Comisión de la Unión Europea, 2022. Farm to Fork: New rules to reduce the risk and use of pesticides in the EU [WWW Document]. accessed 29.9.22. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/QANDA_22_3694.
3. De Lapeyre, L., Lescot, T. and Loeillet, D. 2021. Mancozeb as a banana treatment, the end of an icon. *Fruitrop* (274), 8-13. <https://www.fruitrop.com/en/Articles-by-subject/Economic-analyses/2021/Mancozeb-as-a-banana-treatment-the-end-of-an-icon>
4. FRAC 2023. Fungicide Resistance Action Committee. Recommendations for bananas. Banana WG meeting minutes 2022. www.frac.info.

5. Guzmán, M., Orozco-Santos, M. y Pérez Vicente, L. 2013. Las enfermedades sigatoka de las hojas del banano: dispersión, impacto y evolución de las estrategias de manejo en América Latina y el Caribe. Memorias de la XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos). Fortaleza, Ceará, Brasil. p. 98-116.
6. Guzmán, M., Pérez-Vicente, L., Carlier, J., Abadie, C., de Lapeyre de Bellaire, L., Carreel, F., Marín, D.H., Romero, R.A., Gauhl, F., Pasberg-Gauhl, C., Jones, D.R. 2018. Black Leaf Streak. *In*: Jones, D.R. (Ed). Diseases of Banana, Abaca and Enset. 2nd edition, CABI, Wallingford, p. 41-115.
7. Marín, V.D. y Romero, C.R. 1992. El combate de la sigatoka negra en banano. Corporación Bananera Nacional. Costa Rica. Boletín No. 4. 22 p.
8. Marín, D.H., Romero, A.R., Guzmán, M. and Sutton, T.B. 2003. Black sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease* 87: 208-222.
9. Mulder, J.L. and Stover, R.H. 1976. The *Mycosphaerella* Species Causing Banana Leaf Spots. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 67:77- 82.
10. Orozco-Santos, M., Orozco-Romero, J., Pérez-Zamora, O., Manzo-Sánchez, G., Farías-Larios, J. y Silva Moraes, W. 2008. Prácticas culturales para el manejo de la sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology* 33 (3):189-196.
11. Orozco-Santos, M., García-Mariscal, K., Manzo-Sánchez, G., Guzmán-González, S., Martínez-Bolaños, L., Beltrán-García, M., Garrido-Ramírez, E., Torres-Amezcuca, J.A. y Canto-Canché, B. 2013. La sigatoka negra y su manejo integrado en banano. Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA, INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. 152 p.
12. Orozco-Santos, M., Orozco-Romero, J., Vázquez-Jiménez, J.L., Manzo-Sánchez, G., Beltrán-García, M.J. y Farías-Larios, J. 2008. Influencia de diferentes métodos de riego sobre la severidad de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano Gran Enano. Memorias de la XVIII Reunión Internacional ACORBAT. Guayaquil, Ecuador.
13. Orozco-Santos, M., Cruz-Epigmenio, S., Manzo-Sánchez, G., Guzmán-González, S., Martínez-Bolaños, L., Canto-Canche, B. 2013. Efecto de la Urea aplicada a hojas afectadas por sigatoka negra para reducir el nivel de inóculo en banana Gran Enano. Memorias de la XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos). Fortaleza, Ceará, Brasil.

Situación actual del Moko bacteriano en Musáceas: Recomendaciones de manejo exitoso

Luciano Martínez-Bolaños^{1*}, Miguel Ángel Contreras Martínez de Escobar², Misael Martínez-Bolaños³, Gilberto Manzo Sánchez⁴,
Blondy Canto Canche⁵

^{1*}Especialista en Fitosanidad Tropical. Maestría en Protección Vegetal. Centro Regional Sur. Universidad Autónoma Chapingo. Zimatlán, Oaxaca, México; ²Consultor Internacional en Musáceas. Teapa, Tabasco, México; ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, km. 18. Carretera Tapachula - Cacahotán, Tuxtla Chico, Chiapas, México; ⁴Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Colima, Autopista Colima-Manzanillo Km 40, Tecmán, Colima; ⁵Unidad de Biotecnología, Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 Col. Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yucatán, México.

*Autor de

Correspondencia:

Luciano Martínez-Bolaños
lucianomtz@yahoo.com.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Martínez-Bolaños L,
Martínez ECMA, Martínez-
Bolaños M, Manzo SG y
Canto CB. 2024. Situación
actual del Moko bacteriano
en Musáceas:

Recomendaciones de
manejo exitoso. *Acorbat*
Revista de Tecnología y
Ciencia 1(1): 82

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2482](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2482)

RESUMEN

El Moko del plátano o marchitez bacteriana de las musáceas afecta de manera significativa al cultivo de plátanos y bananos en el mundo. Para su manejo se requieren medidas profilácticas y de exclusión que permitan reducir el riesgo de su diseminación a zonas libres de este problema fitosanitario. En zonas con presencia de la enfermedad, su manejo es difícil debido a la agresividad del patógeno y su fácil dispersión; para ello se deben de implementar estrategias eficientes y sostenibles para su erradicación o manejo. Una estrategia implica el uso de microorganismos benéficos y de extractos y aceites vegetales como parte de un manejo integrado y sostenible de esta enfermedad.

Palabras clave: *Ralstonia solanacearum* raza 2, control biológico, metabolitos secundarios, Fitosanidad.

ABSTRACT

Banana bacterial wilt significantly affects plantains and bananas worldwide. Prophylactic and exclusion measures are required for its management to reduce the risk of its spread to areas free of this phytosanitary problem. In areas where the disease is present, its management is difficult due to the aggressiveness of the pathogen and its easy dispersion. Efficient and sustainable strategies must be implemented for its eradication or management. One strategy involves the use of beneficial microorganisms and vegetable extracts and oils as part of an integrated and sustainable management of this disease.

Keywords: *Ralstonia solanacearum* race 2, biological control, secondary metabolites., phytosanity.



Los bananos (*Musa acuminata Colla AAA*) son frutos muy valiosos tanto por valor nutrimental, como por su valor económico y de impacto social en las zonas tropicales del mundo. Los bananos se cultivan en más de 120 países en el mundo, con una superficie de 5,940,159 ha, y una producción de 1,351, 112,326 toneladas, en donde, el 15% de esta fruta se comercializa internacionalmente (FAOSTAT, 2022). El Moko bacteriano de las musáceas comestibles o marchitez vascular, es causada por la betaproteobacteria *Ralstonia solanacearum* filotipo II raza 2 (Fegan & Prior, 2006). Actualmente se encuentra distribuida en algunos países de África como: Etiopía, Libia, Nigeria y Senegal; en Asia está presente en India, Malasia, Filipinas, Tailandia y Vietnam; en América se reporta en Belice, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guayana Francesa, Guyana, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Perú, San Vicente, Surinam, Trinidad y Tobago, Venezuela (CABI, 2021). El impacto del Moko Bacteriano en plátanos y bananos ha implicado el desarrollo de técnicas moleculares para el diagnóstico y detección efectiva del patógeno (Pardo *et al.*, 2019; Zuperi *et al.*, 2016); así como el estudio de su diversidad genética (Obrador-Sánchez *et al.*, 2017);

Epidemiología. La bacteria penetra a la planta por aberturas naturales o heridas; y coloniza los tejidos vasculares del xilema, lo cual obstruye el flujo de agua y nutrientes a la parte aérea de la planta, causando síntomas de marchitez y amarillamiento de las hojas más jóvenes, y eventualmente, causa la muerte de la planta. La bacteria puede sobrevivir en el suelo de 3 a 18 meses y se disemina muy fácilmente a través de equipos y herramientas de trabajo contaminadas; también se puede diseminar por el uso de material vegetativo o suelo contaminado al establecer nuevas plantaciones. Otro medio eficiente para la dispersión del patógeno son las inundaciones o el riego en las parcelas. Los insectos pueden ser vectores de la bacteria, al viajar de plantas infectadas a plantas sanas (Buddenhagen, 1962).

Estrategias de Manejo del Moko Bacteriano. El manejo del Moko bacteriano se basa en primer momento, en el desarrollo de medidas de **Exclusión** para prevenir la entrada de la bacteria al país, estado, región o plantaciones de banano, mediante el establecimiento de medidas cuarentenarias y prácticas profilácticas o de bioseguridad; en ese sentido, se debe contar con legislaciones y normas que impidan la introducción del patógeno a zonas libres del problema. Por otra parte, las fincas bananeras deben presentar protocolos de bioseguridad, con énfasis en el ingreso y movilidad de las personas en las plantaciones. En los puntos de ingreso debe de haber bitácoras de registro y se debe de exigir de manera estricta, la desinfección del calzado o llantas para el sistema de transporte, con desinfectantes eficientes como sales cuaternarias de

amonio para plantaciones convencionales, y extractos vegetales o esencias de plantas en plantaciones orgánicas y/o certificadas con manejo sostenible. Dentro de las plantaciones de banano, debe establecerse un sistema de desinfección estratégico con tapetes fitosanitarios, en cada parcela o lote de plantación. Además; debe establecerse un sistema que garantice que los trabajadores que utilizan herramientas punzo cortantes, tengan que desinfectarlas antes de cortar o causar una herida a una planta, en especial, cuando se desarrollar las labores culturales de saneo, deshije, desflore y cosecha.

En segundo momento, y una vez que se detecta la enfermedad en una finca bananera, se deben implementar estrategias de **Supresión**, las cuales permitan reducir la densidad y fuentes de inóculo o Unidades formadoras de colonias (UFC). Una de las principales actividades es la eliminación de las plantas enfermas mediante la inyección de un herbicida sistémico. El desarrollo de protocolos de muestreo que permitan determinar la distribución espacial y temporal de la enfermedad, y cuantificar mensualmente, la incidencia y severidad del Moko a nivel de parcela, finca o región productora de estas musáceas. Finalmente, es imprescindible el desarrollo de un programa de manejo integrado con estrategias sostenibles para el control de la enfermedad, dentro de las que sobresalen el uso de microorganismos benéficos (endófitos) que protejan a la planta de infecciones, así como el uso de fitoquímicos (metabolitos secundarios) presentes en las plantas con propiedades antimicrobiales para la bioremediación de sitios contaminados por *R. solanacearum* raza 2, y finalmente, el uso de moléculas químicas inorgánicas eficientes con bajo impacto ambiental, como la aspersión aérea de nanopartículas de cobre y el uso localizado de sales cuaternarias de amonio.

Uso de metabolitos secundarios. Los metabolitos secundarios son mezcla de compuestos aromáticos y volátiles, extraídos de diferentes partes de las plantas, están formados principalmente por terpenoides y sus derivados oxigenados; presentan un amplio espectro de acción contra microorganismos fitopatógenos (Calo *et al.*, 2015). El mecanismo de acción de algunos metabolitos secundarios, como los aceites esenciales (AEs), implica la inducción de cambios en la composición de la pared celular (Ghfir *et al.*, 1997); interrupción de la formación de ATP y disyunción de la membrana plástica y desorganización estructural de la mitocondria (Tariq *et al.*, 2019); así como la interferencia con reacciones enzimáticas de la membrana mitocondrial (Sivakumar y Bautista, 2014). Algunos estudios han mostrado la actividad antimicrobial de extractos o volátiles de plantas como *Allium tuberosum* (Zhang *et al.*, 2013; Li *et al.*,

2020); *Melaleuca alternifolia* (Paramalingam *et al.*, 2023) *Zingiber officinale* (Abdullahi *et al.*, 2020) y *Datura metal* (Akila *et al.*, 2011) para el control de FOC R4T

En estudios realizados por nuestro grupo de investigación en México, el uso de aceite esencial de *Origanum vulgare* a dosis de 500 μ L⁻¹; y de *Cinnamomum zeylanicum*, *Sysigium aromaticum*, y *Pimenta dioica* a dosis de 5000 μ L⁻¹. Mostraron la inhibición del desarrollo de las colonias de *R. Solanacearum* raza 2. Además, en forma paralela, cormos de banano infectados de manera artificial con *R. solanacearum* raza 2, tratados con aceites esenciales de *O vulgare*, *P. dioica* y *C. zeylanicum*, no desarrollaron síntomas de la enfermedad. Estos resultados nos sugieren el potencial uso de los extractos y aceites esenciales como las herramientas para el manejo del Moko bacteriano.

REFERENCIAS

1. Abdullahi A, Khairulmazmi A, Yasmeen S, Ismail IS, Norhayu A, Sulaiman MR, Ahmed OH and Ismail MR. 2020. Phytochemical profiling and antimicrobial activity of ginger (*Zingiber officinale*) essential oils against important phytopathogens. *Arabian Journal of Chemistry* 13:8012-8025. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.09.031>
2. Akila R, Rajendran L, Harish S, Saveetha K, Raguchander T and Samiyappan R. 2011. Combined application of botanical formulation and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) causing Fusarium wilt in banana. *Biological Control* 57(3):175-183. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.02.010>
3. Calo JR, Crandall PG, O'Bryan CA and Ricke SC. 2015. Essential oils as antimicrobials in food systems - A review. *Food Control* 54:111-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>
4. FAOSTAT. 2022. Resource document. <http://faostat3.fao.org>. Accessed on January 14, 2024.
5. Ghfir B, Fonvieille, JL and Dargent R. 1997. Influence of essential oil of *Hyssopus officinalis* on the chemical composition of the walls of *Aspergillus fumigatus* (Fresenius). *Mycopathologia* 138:7-12. <https://doi.org/10.1023/A:1006876018261>
6. Grajales-Amoroso M, Acosta-Minoli C, Muñoz-Pizza D, Manrique-Arias O, Munoz-Loaiza A. 2023. Analysis of Moko disease propagation on plantains (*Musa* AAB Simmonds) through a model based on system dynamics. *European Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02764-2>
7. Li Z, Wang T, He C, Cheng K, Zeng R and Song Y. 2020. Control of Panama disease of banana by intercropping with Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottler): cultivar differences. *BMC Plant Biology* 20:432. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02640-9>
8. Obrador-Sánchez JA, Tzec-Simá M, Higuera-Ciapara I, Canto-Canche B. 2017. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains from Mexico associated with Moko disease. *European Journal of Plant Pathology* 149:817-830. DOI 10.1007/s10658-017-1228-3

9. Paramalingam P, Baharum NA, Abdullah JO, Hong JK and Saidi NB. 2023. Antifungal potential of *Melaleuca alternifolia* against fungal pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Tropical Race 4. *Molecules* 28, 4456. <https://doi.org/10.3390/molecules28114456>
10. Pardo JM, López-Alvarez D, Ceballos G, Alvarez E, Cuellar WJ. 2019. Detection of *Ralstonia solanacearum* Phylotype II, race 2 causing Moko disease and validation of genetic resistance observed in the hybrid plantain FHIA-21. *Tropical Plant Pathology* 44:371-379. <https://doi.org/10.1007/s40858-019-00282-3>
11. Ramírez M, Neuman BW, Ramírez CA. 2020. Bacteriophages as promising agents for the biological control of Moko disease (*Ralstonia solanacearum*) of banana. 149:104238. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104238>
12. SIAP. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/
13. Sivakumar D and Bautista BS. 2014. A review on the use of essential oils for post harvest decay control and maintenance of fruit quality during storage. *Crop Protection* 64:27-37. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.012>
14. Tariq S, Wani S, Rasool W, Shafi K, Bhat MA, Prabhakar A, Shalla AH and Rather MA. 2019. A comprehensive review of the bacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis* 134:103580. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103580>
15. Villegas-Escobar V, Gonzalez-Jaramillo LM, Ramírez M, Moncada RN, Sierra-Zapata L, Orduz S, Romero-Tabarez M. 2018. Lipopeptidos from *Bacillus* sp. EA-CB0959: Active metabolites responsible for *in vitro* and *in vivo* control of *Ralstonia solanacearum*. *Biological Control* 125:20-25. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.06.005>
16. Zhang H, Mallik A and Zeng RS. 2013. Control of Panama Disease of banana by rotating and intercropping with Chinese Chive (*Allium tuberosum* Rottler): Role of plant volatiles. *Journal of Chemical Ecology* 39:243-252. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0243-x>
17. Zulperi D, Sijam K, Ahmad ZAM, Awang Y, Ismail SI, Asib N, Hata EM. 2016. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* phylotype II sequevar 4 strains associated with Moko disease of banana (*Musa* spp.) in Peninsular Malaysia. *European Journal of Plant Pathology* 144: 257-270. DOI 10.1007/s10658-015-0764-y

Aislamiento, identificación molecular y diversidad genética de las cepas de *Ralstonia solanacearum* causantes del Moko bacteriano en banano en México

Blondy Canto-Canché^{1*}, Miguel Tzec-Simá²; Luciano Martínez Bolaños³, José Abraham Obrador-Sánchez⁴

¹Unidad de Biotecnología, ²Unidad de Biología Integrativa, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Calle 43 No. 130 Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205 Mérida, Yucatán, México. ³Centro Regional Sur. Universidad Autónoma Chapingo. Zimatlán, Oaxaca, México. C.P. 71200. ⁴Departamento de Parasitología Unidad Laguna, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

*Autor de

Correspondencia:

Blondy Canto-Canché
cantocanche@cicy.mx

Contribución:

Científica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Canto-Canché B, Tzec-Simá M, Martínez BL y
Obrador-Sánchez JA. 2024.

Aislamiento, identificación
molecular y diversidad
genética de las cepas de
Ralstonia solanacearum
causantes del Moko
bacteriano en banano en
México. *Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
83

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2483](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2483)

RESUMEN

Ralstonia solanacearum es causante de la enfermedad Moko en bananos y plátanos; esta bacteria es difícil de aislar y caracterizar genéticamente. En este trabajo se tuvo como objetivos incrementar el éxito del aislamiento de *R. solanacearum* raza 2 y realizar la genotipificación de las cepas de México. Se encontró que éstas pertenecen al secuevar 6, identificándose por primera vez en este secuevar dos cepas no patogénicas en banano. La construcción de árboles filogenéticos basados en secuencias de *hrpB* y *pga* fueron capaces de agrupar en clados diferentes las cepas patogénicas de las no patogénicas. Es probable que estas cepas correspondan a nuevos ecotipos de *R. solanacearum* de la raza 2.

Palabras clave: Moko, aislamiento *Ralstonia solanacearum*; filogenia, Fitosanidad.

ABSTRACT

Ralstonia solanacearum is the causal agent of Moko disease in banana and plantain; this bacterium is elusive for isolation and genetic characterization. The goals of this work were improve the chance of isolation of *R. solanacearum* race 2 and perform the genetic genotyping of Moko mexican strains. Strains from Mexico belong to sequevar 6, and for first time it was found two strains non-pathogenic on banana. Phylogenetic trees based on *hrpB* and *pga* sequences were able to place in different clades the pathogenic and the non-pathogenic on banana strains. Probably these strains correspond to new ecotypes of *R. solanacearum* race 2.

Keywords: Moko disease; isolation of *Ralstonia solanacearum*; phylogeny, phytosanity.



INTRODUCCIÓN

Ralstonia solanacearum (Smith, 1986) es una de las bacterias más destructivas en la agricultura mundial. Es cosmopolita y afecta al menos 54 familias de plantas dicotiledóneas y monocotiledóneas. Muchas de las plantas hospederas son cultivos de importancia agrícola o alimentos importantes de subsistencia, como la papa (*Solanum tuberosum*), el tomate (*S. lycopersicum*), la berenjena (*S. melongena*), el cacahuete (*Arachis hypogea*), y los bananos y plátanos (*Musa spp.*) (Fegan y Prior, 2005a).

R. solanacearum se ha clasificado en cinco razas, con base el rango de hospederos que infecta; la raza 2 infecta heliconias y plátanos, causando el Moko bacteriano en los cultivos de bananos y plátanos. La enfermedad está presente en América, Asia, África y Oceanía y es un problema fitosanitario serio en los países tropicales. Moko ingresó a México en 1960 y actualmente está distribuida en muchos municipios de Chiapas y Tabasco, los dos principales productores de banano en México.

Genéticamente *R. solanacearum* se clasifica en filotipos y secuevares (Fegan y Prior, 2005b). Los filotipos correlacionan las cepas con sus orígenes geográficos: filotipo I, cepas principalmente de Asia; II, de América; III, de África y el Océano Índico, y IV de Indonesia, Japón y Australia (Fegan y Prior, 2005b). A su vez, los filotipos se subdividen en secuevares, basados en la secuencia nucleotídica del gen *Egl*, que codifica para una endoglucanasa (Fegan y Prior, 2005a). Los principales secuevares causantes de la enfermedad Moko en banano y plátano son el 3, 4 y 6. En este trabajo se tuvo como objetivo aislar las cepas causantes de Moko en banano en México y genotipificarlas.

R. solanacearum usualmente es aislada en el medio semi-selectivo SMSA pero el aislamiento es difícil debido a que también pueden crecer bacterias de los géneros *Klebsiella*, *Erwinia* y *Pseudomonas* u otras especies de *Ralstonia* (Obrador-Sánchez *et al.*, 2017a). Estas bacterias frecuentemente son contaminantes en los cultivos de *R. solanacearum* y dificultan el aislamiento y los análisis, porque crecen más rápido que *R. solanacearum* y muestran características microscópicas y coloniales similares. En este trabajo se describe una estrategia para facilitar el aislamiento de esta bacteria, así como la caracterización genética de las cepas presentes en México.

Aislamiento de cepas mexicanas de *R. solanacearum*. Los esfuerzos iniciales de aislar *R. solanacearum* fueron negativos, identificando las bacterias aisladas como *Pseudomonas solanacearum*. Por tal motivo se modificó la estrategia, realizando el

diagnóstico inmunológico en las muestras, previo al aislamiento bacteriano (Figura 1, panel superior izquierdo). Para facilitar el aislamiento, las bacterias que crecieron sobre medio SMSA se subcultivaron sobre medio B King (Figura 1, panel inferior izquierdo); las bacterias *Pseudomonas* spp. generan fluorescencia al ser expuestas a 360 nm, mientras que *R. solanacearum* no fluoresce, permitiendo distinguir a las bacterias de interés.

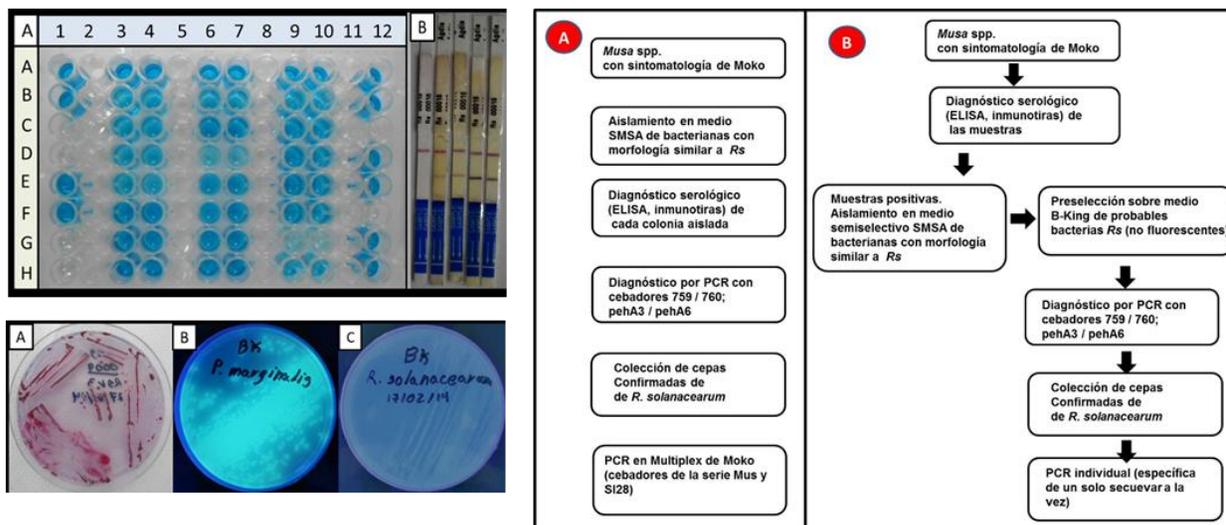


Figura 1. Panel arriba, a la izquierda, confirmación inmunológica de *R. solanacearum* mediante ELISA (las muestras positivas generan color azul) e inmunotiras (las muestras positivas dan la segunda banda observada de arriba hacia abajo). Abajo, se observan las bacterias creciendo sobre medio SMSA (A), *P. marginalis* creciendo en medio B King (B) y *R. solanacearum* sobre medio B King. La figura de la derecha resume la metodología usada generalmente en el aislamiento de *R. solanacearum* (A) y las modificaciones realizadas en el presente trabajo (B). Basado en Obrador-Sánchez *et al.* (2017a).

A partir de las muestras diagnosticadas inmunológicamente como positivas y confirmadas por PCR (cebadores 759/760, banda diagnóstica de 281pb; Opina *et al.* 1997), se aislaron 47 cepas de *R. solanacearum*. El análisis molecular con los cebadores ISRso19-F/ ISRso19-R confirmaron que todas las cepas pertenecen a la raza 2, ya que amplificaron la banda diagnóstica de 1884pb (Opina *et al.*, 1997).

Genotipificación. El análisis de los secuevares se realizó inicialmente con reacciones PCR tipo multiplex (Fegan y Prior, 2005b), como usualmente se recomienda, pero algunas muestras amplificaron simultáneamente bandas esperadas para diferentes secuevares (Figura 2, panel A); las reacciones de PCR sencillas dieron resultados claros, por lo que para la genotipificación se recomienda evaluar multiplex vs reacciones sencillas. Ninguna cepa de México amplificó para los secuevares 3 y 4, las

cepas amplificaron claramente la banda diagnóstica correspondiente al secuevar 6 (Figura 2, panel B).

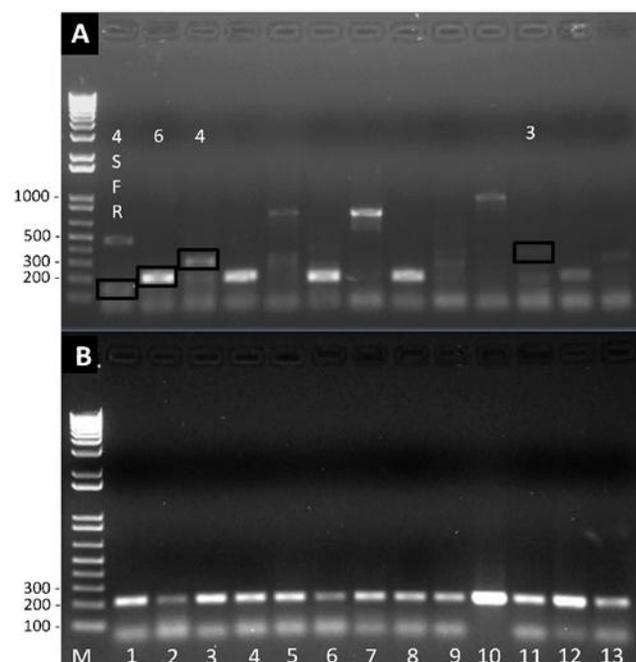


Figura 2. Genotipificación de las cepas de *R. solanacearum* aisladas en México. Panel A) Reacciones de PCR en multiplexado, de acuerdo a Fegan y Prior (2005b). Panel B) Reacciones sencillas de PCR usando los cebadores para el secuevar 6. Basado en Obrador-Sánchez *et al.* (2017a).

La genotipificación de las cepas de *R. solanacearum* como secuevar 6 relaciona las cepas de México con las cepas de Venezuela, Costa Rica, Panamá y Honduras, lo que sugiere que provenga de alguno de estos países (Obrador-Sánchez *et al.*, 2017b).

Hipersensibilidad y virulencia. Todas las cepas aisladas fueron positivas en las pruebas de hipersensibilidad en *Nicotiana tabacum*, generando desecamiento en el área de inoculación, con bordes amarillos en la periferia. En las pruebas de patogenicidad en plantas de banano, excepto las cepas MC01 y MC02, todas las cepas generaron síntomas de desecamiento a partir de la segunda semana post-inoculación. Se realizaron cortes horizontales cada 3 cm y para MC01 y MC02 sólo se observó presencia de pequeñas lesiones en la zona de inoculación; al realizarse la detección de *R. solanacearum* por PCR con ADN aislados de estos cortes, sólo se detectó la presencia de la bacteria en las secciones muy cercanas al punto de inoculación (Figura 3).

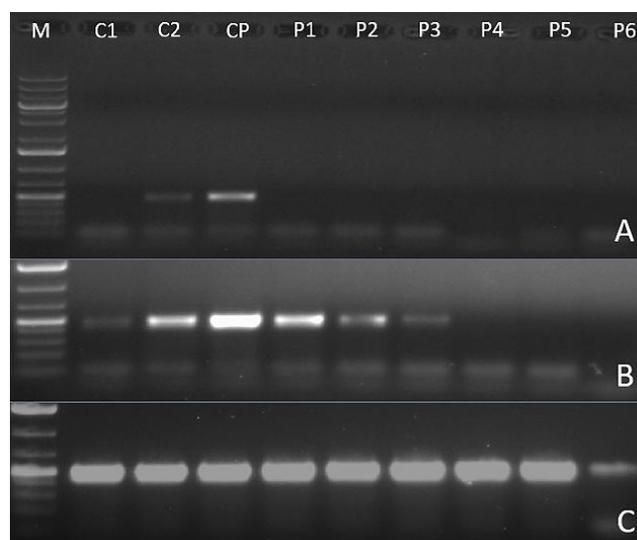


Figura 3. Detección por PCR de *R. solanacearum* a partir del ADN extraído de plantas de banano inoculadas con las cepas MC01 (A), MC02 (B) y la cepa patogénica MT08 (C). Basado en Obrador-Sánchez *et al.* (2017b).

Relaciones filogenéticas. El análisis de *egl*, *hrpB* y *pga* posicionó a las cepas mexicanas de *R. solanacearum* dentro del filotipo IIA, en el cluster del secuevar 6. El árbol filogenético basado en las secuencias de *egl* juntó en un mismo agrupamiento a las cepas patógenas y no patógenas de México, pero los árboles filogenéticos contruidos con secuencias de *hrpB* y *pga* sí las separaron. Las cepas patógenas mexicanas se agruparon juntas, con la cepa Granada 91 perteneciente al secuevar 6, patógena en banana. Las cepas no patógenas en bananao (NPB) MC01 y MC02 se agruparon en un clado hermano. Las secuencias para *hrpB* y *pga* son menos utilizados que *egl* para el genotipo *R. solanacearum*, pero estos resultados muestran que probablemente sean marcadores moleculares útiles para el estudio de cepas de América, particularmente del secuevar 6. La Figura 4 muestra como ejemplo el árbol filogenético construido con las secuencias de *hrp*.

Las dos cepas NPB mexicanas son filogenéticamente más cercanas a las cepas patógenas de México, que a las cepas NPB que se han descrito anteriormente en Martinica, sugiriendo que las cepas NPB mexicanas son nuevos ecotipos que amplían la diversidad fenotípica y posiblemente la diversidad genética dentro del complejo de *R. solanacearum*.

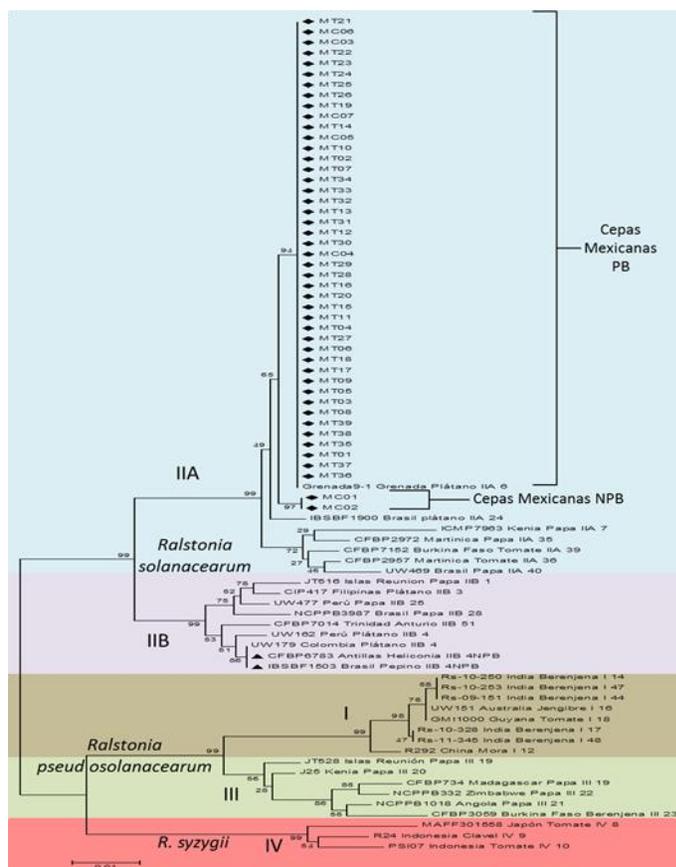


Figura 4. Árbol filogenético generado con secuencias de *hrp* de las cepas de *R. solanacearum* causantes de la enfermedad de Moko en México. Los diamantes cerrados son cepas de México. Los triángulos cerrados son cepas 4NPB. Basado en Obrador-Sánchez *et al.* (2017b).

CONCLUSIONES

La identificación inmunológica de plantas de banano positivas a Moko en combinación con el aislamiento secuencial en los medios semi-selectivos SMSA y B-King favorecen el aislamiento exitoso de *R. solanacearum*.

La tipificación de secuevares de *R. solanacearum* raza 2 es más fiable con PCRs sencillas, en comparación con la PCR multiplex.

Las cepas de *R. solanacearum* raza 2 de México pertenecen al secuevar 6. Es probable que se relacionen filogenéticamente con las cepas de Venezuela y Honduras.

Se identificó por primera vez dos cepas de *R. solanacearum* raza 2, secuevar 6, que son no patogénicas en banano, lo que sugiere la evolución de nuevos ecotipos.

REFERENCIAS

1. Fegan M, Prior P, eds, 2005a. Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. Minnesota: APS Press.
2. Fegan M, Prior P, 2005b. How complex is the “*Ralstonia solanacearum* species complex”. In: Allen C, Prior P, Hayward AC, eds. Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex. St Paul, MN: APS Press.
3. Gillings M, Fahy P, Davies C, 1993. Restriction analysis of an amplified polygalacturonase gene fragment differentiates strains of the phytopathogenic bacterium *Pseudomonas solanacearum*. Letters in Applied Microbiology 17: 44-8.
4. Obrador-Sánchez JA, Tzec-Simá M, Canto-Canché B, Higuera-Ciapara I. 2017a. Techniques for isolation, identification and molecular characterization of Moko disease-related *Ralstonia solanacearum* strains. Revista Mexicana de Fitopatología 35(3): 509-533.
5. Obrador-Sánchez JA, Tzec-Simá M, Higuera-Ciapara I. Canto-Canché B, 2017b. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* strains from Mexico associated with Moko disease. European Journal of Plant Pathology 149:817–830.
6. Obrador-Sánchez JA, Tzec-Simá M, Higuera-Ciapara I. Canto-Canché B, 2017c. A quick and effective in-house method of DNA purification from agarose gel, suitable for sequencing. 3 Biotech, 7(3), 180.
7. Opina N, F. Tavner, G. Holloway, et al., 1997. A novel method for development of species and strain – specific DNA probes and PCR primers for identifying *Burkholderia solanacearum* (formerly *Pseudomonas solanacearum*). Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology 5: 19-33.
8. Zulperi D, Sijam K, Ahmad Z, Awang Y, Ismail S, Asib N, Hata E. 2016. Genetic diversity of *Ralstonia solanacearum* phylotype II sequevar 4 strains associated with Moko disease of banana (*Musa* spp.) in Peninsular Malaysia. European Journal of Plant Pathology, 144: 257-270.

Plan de acción del gobierno de México ante la amenaza de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical y otras enfermedades emergentes de musáceas

Francisco Ramírez y Ramírez^{1*}

¹Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica). Insurgentes Sur No. 489, Piso-7, CP. 06100. Colonia Hipódromo, Alcaldía Cuauhtémoc, Ciudad de México.

*Autor de

Correspondencia:

Francisco Ramírez y Ramírez
gestion.dgsv@senasica.gob.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Ramírez y Ramírez F. 2024.
Plan de acción del gobierno
de México ante la amenaza
de *Fusarium oxysporum* f.
sp. *cubense* Raza 4 Tropical
y otras enfermedades
emergentes de musáceas.

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
84

[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2484](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2484)

RESUMEN

La Marchitez de las musáceas por *Fusarium* (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical-Foc R4T), es una plaga ausente en México. Por lo anterior, como parte de la gestión de riesgo, el Senasica elaboró el Análisis de Riesgo de Plagas, por medio del cual se determinó que Foc R4T es una plaga de Riesgo Medio, se identificaron las posibles vías de introducción y se establecieron las medidas fitosanitarias para mitigar el riesgo. En los puntos de ingreso al país se realizan actividades de inspección dirigidas a productos y subproductos de musáceas para su intercepción, retención y destrucción; incluyendo la inspección a turistas de manera directa y no intrusiva. Desde el 2011 se realizan muestreos para la detección oportuna de plantas sospechosas a Foc R4T, las muestras son analizadas mediante un protocolo de diagnóstico robusto y armonizado a nivel internacional. Además, se realizan actividades de vinculación para comunicar el riesgo que representa la plaga y eventos de capacitación en el reconocimiento de síntomas sospechosos. Adicionalmente, el Senasica coordina un proyecto para la generación de variedades resistentes y manejo integrado de la plaga mediante el aislamiento y evaluación de organismos antagonistas. A la fecha, las 685 muestras sospechosas a Foc R4T han resultado negativas.

Palabras clave: Prevención, Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, detección oportuna, marchitez de las musáceas por *Fusarium*, Fitosanidad.

ABSTRACT

Fusarium wilt of musaceae (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 -Foc TR4), is a pest absent in Mexico. Because of this, as part of risk management, Senasica prepared the Pest Risk Analysis, through which it was determined that Foc TR4 is a Medium Risk pest, possible routes of introduction were identified and phytosanitary measures were established to mitigate the risk. At points of entry into the country, inspection activities are carried out for the interception, retention and destruction of musaceae products and by-products, including direct and non-intrusive inspection of tourists. Since 2011, sampling has been carried out for the timely detection of Foc TR4-suspect plants. The samples are analyzed using a robust, internationally harmonized diagnostic protocol. In addition, outreach activities are carried out to communicate the risk posed by the pest and training events in the recognition of symptoms. Additionally, Senasica coordinates a project for the generation of resistant varieties and



integrated pest management through the isolation and evaluation of antagonistic organisms. To date, the 685 samples suspected of Foc TR4 have tested negative.

Keywords: Prevention, Phytosanitary epidemiological surveillance, early detection, *Fusarium* wilt of musaceae, phytosanity.

INTRODUCCIÓN

Análisis de Riesgo de Plagas (ARP)

En 2019, el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), elaboró el estudio de ARP para Foc R4T, donde se determinó que su condición en México es Ausente: la plaga no se ha registrado; por lo que, cumple con la definición de plaga cuarentenaria. Se analizaron las vías de introducción consistentes en material vegetal propagativo, maquinaria agrícola usada, movilización por suelo adherido a zapatos de migrantes y científicos, artesanías y agua de lastre; se realizó la evaluación de riesgo, determinándose que es una plaga de Riesgo Medio para nuestro país; además, se determinaron las medidas de manejo más apropiadas para mitigar el riesgo, como, colocación de tapetes fitosanitarios en los puntos de ingreso al país, retención y destrucción de artesanías elaboradas con fibras de musáceas, y recomendar a las embarcaciones navieras que descarguen el agua de lastre a por lo menos 50 millas náuticas de litorales de México.

Inspección fitosanitaria en puntos de ingreso al país

En los puntos de ingreso al país (puertos, aeropuertos y fronteras), se realizan las siguientes acciones: a) inspección de productos y subproductos de musáceas, b) retención y destrucción de las mismas, c) revisión de embarcaciones marítimas y sellado de gambuzas, y d) monitoreo de mercancías en tránsito internacional. Todo lo anterior, con el objeto de interceptar productos y subproductos de musáceas.

El Senasica también lleva a cabo la inspección a turistas para detectar, retener y destruir productos y subproductos de musáceas mediante: a) inspección directa de equipaje, b) inspección por medios no intrusivos (rayos X y unidades caninas), c) inspección de embarcaciones turísticas, en donde se realizan actividades para retener y destruir comisariatos y sellar las gambuzas y d) uso de tapetes fitosanitarios.

Vigilancia de la Marchitez de las musáceas por *Fusarium* en México

Desde el 2011, se realizan acciones para la Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria de la marchitez de las musáceas por *Fusarium*, además de Moko del plátano (*Ralstonia solanacearum* Raza 2). Durante el periodo de 2011 a 2023, a través de Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria, se realizaron 404,754 encuestas, se exploraron 230,026 sitios y se inspeccionaron 20,358,085 plantas para la detección oportuna de Foc R4T.

Para realizar dicha actividad, en 2023, México registró una plantilla de 94 técnicos que realizan acciones de vigilancia en el cultivo del plátano, en los siguientes estados: Tabasco (10), Chiapas (9), Oaxaca (9), Veracruz (9), Yucatán (8), Michoacán (7), Nayarit (6), Quintana Roo (6), Campeche (5), Guerrero (5), Colima (4), Morelos (4), Puebla (4), San Luis Potosí (4), Hidalgo (2) y Jalisco (2).

Cabe resaltar que a través de las acciones de muestreo, exploración y diagnóstico fitosanitario que realiza la Campaña contra Moko del plátano desde el 2019, se coadyuva en la vigilancia de la marchitez de las musáceas por *Fusarium*, con el apoyo de 17 técnicos distribuidos en los estados de Chiapas, Michoacán, Nayarit y Tabasco.

Con la finalidad de optimizar la vigilancia de la plaga basado en una lógica dinámica y flexible en espacio y tiempo, desde septiembre de 2022, se elaboran boletines mensuales para los estados de Chiapas, Tabasco, Veracruz, Michoacán, Jalisco y Colima, en donde se determinan 6 niveles de condiciones para el desarrollo y expresión de síntomas de la plaga, siendo estos: Alto, Medio, Medio Bajo, Bajo, Muy bajo y Sin condición (Figura 1), lo que permite optimizar el recurso humano y financiero para su detección oportuna.

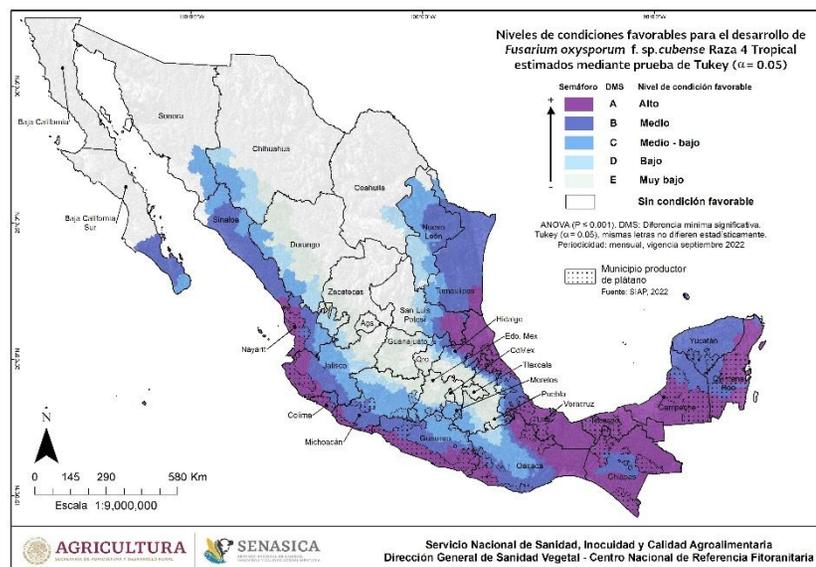


Figura 1. Estimación de condiciones favorables potenciales para la expresión de síntomas de Foc R4T en México para el mes de septiembre de 2023, por medio del modelo dinámico.

Diagnóstico Fitosanitario para Foc R4T México

En 2018, el Senasica elaboró la primera versión del Protocolo de Diagnóstico Fitosanitario para Foc R4T armonizado con la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias NIMF 27 (CIPF, 2016), previo a esa fecha se realizaba el diagnóstico por morfometría y PCR usando los iniciadores reportados por Dita *et al.* (2010); a la fecha se han realizado dos actualizaciones del protocolo, una en 2022 y otra en 2023. Actualmente se cuenta con la Versión 3 de dicho documento, el cual está armonizado con la Comunidad Andina. El protocolo de diagnóstico desarrollado en México contempla lo siguiente: a) Diagnóstico por morfo-taxonomía, b) PCR punto final (varios iniciadores), c) Amplificación isotérmica LAMP, d) PCR tiempo real con sonda TaqMan, e) Ensayo PCR + RFLP, f) Secuenciación de fragmentos cortos (Tipo Sanger) y genoma completo (Next Generation Sequencing) y g) Análisis filogenético con herramientas de bioinformática (Senasica, 2023).

En 2018, 2022 y 2023, el protocolo de diagnóstico se transfirió a los laboratorios aprobados por el Senasica, con la finalidad de incrementar la capacidad de diagnóstico a nivel nacional. Así mismo, en octubre de 2022, se transfirió el protocolo desarrollado por Senasica a 11 países (Austria, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, Paraguay, Perú, República Dominicana y Venezuela).

Durante el periodo de 2011 a 2023, se analizaron un total de 685 muestras sospechosas a Foc R4T, todas resultaron negativas a la plaga.

Plan de acción para la aplicación de medidas fitosanitarias contra la marchitez de las musáceas por *Fusarium*, plaga ausente de México

Desde el 2015, el Senasica cuenta con un Plan de Acción para activar las medidas fitosanitarias tendientes a la contención de la plaga ante una eventual detección, para lo cual, se tomó como insumo el Plan de Acción del OIRSA (Dita *et al.*, 2013), el cual fue adaptado considerando la biología de la plaga, específicamente la dispersión por arrastre de partículas de suelo contaminadas y propágulos a través de las escorrentías y salpique de agua de lluvia, además de animales y herramientas de trabajo contaminadas. El Plan de Acción actualizado incluye las actividades de: 1) delimitación, 2) exploración o muestreo, 3) cuarentena, 4) exclusión, 5) medidas de bioseguridad y 6) manejo / supresión de la plaga.

Vinculación y capacitación

Durante el año 2023, el Senasica y el Comité Sistema Producto Plátano Nacional A.C. realizaron siete eventos de vinculación y capacitación dirigidas a productores, industria y técnicos vinculados con el cultivo de plátano en Tabasco, Colima, Chiapas, Veracruz, Nayarit y Jalisco, con la finalidad de dar a conocer las acciones que realiza el Senasica para la prevención de la marchitez por *Fusarium*, así como capacitación sobre el reconocimiento de síntomas y signos de las plagas prioritarias del cultivo de plátano. Participaron 579 personas, entre productores, técnicos, investigadores de universidades y centros de investigación, estudiantes, funcionarios de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y de los estados y municipios. Además, se impartieron 10 capacitaciones presenciales en las instalaciones del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria, dirigidas a técnicos del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria de los 32 estados.

En 2021 se realizaron capacitaciones virtuales sobre el reconocimiento de síntomas y daños causados por la marchitez de las musáceas por *Fusarium*, dirigidas a técnicos de campo de los Comités Estatales de Sanidad Vegetal, productores y personal de la Dirección General de Sanidad Vegetal. Participaron 289 técnicos operativos de los estados de Chiapas, Puebla, Michoacán, Tabasco, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, San Luis potosí, Nayarit, Jalisco, Quintana Roo y Colima. En 2023, a través de la plataforma educativa del Programa de Vigilancia (VEFEDUC), se impartieron dos módulos sobre el reconocimiento de síntomas sospechosos a marchitez por *Fusarium*,

cogollo racimoso del banano, marchitez bacteriana y moko del plátano, a un total de 329 asistentes.

De 2020 a 2023 se ha participado en cursos, congresos, simulacros y eventos de capacitación internacional realizados en Panamá, Guatemala, Colombia, Nicaragua, Brasil y Austria, para potencializar la capacidad de respuesta ante una eventual introducción de Foc R4T.

Simulacros de accionabilidad ante una detección eventual de Foc R4T

De 2015 a la fecha se han realizado siete simulacros de accionabilidad, seis de forma presencial y uno virtual.

Investigación

a. Colecta, aislamiento y evaluación de organismos antagonistas

En el año 2022, el Senasica inició un proyecto con el objetivo de desarrollar una tecnología sustentable a futuro para el manejo de Foc R4T basado en la salud del suelo, el cual contempla: i) aislamiento de organismos antagonistas de muestras de suelo en sitios donde se cultiva plátano en los estados de Colima, Tabasco, Chiapas, Michoacán y Veracruz, ii) ensayos de bioprotección con los aislamientos de mayor capacidad antagonista en vitroplantas susceptibles a Foc Raza 1 o Raza 2, en condiciones de invernadero y iii) evaluación en campo.

b. Generación de variedades tolerantes

En el marco del Proyecto Interregional "Fortalecimiento de las capacidades de los Estados Miembros para combatir la marchitez del banano (TR4)", el Senasica en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, están desarrollando un proyecto para la generación de variedades resistentes / tolerantes a la marchitez de las musáceas por *Fusarium*. El proyecto tendrá una duración de 5 años (2022-2026), los avances contemplan el desarrollo y actualización del protocolo de investigación, identificación de genotipos a irradiar y estudios de radiosensibilidad *in vitro* de meristemas de plátano.

Otras plagas emergentes de musáceas

Así mismo, se realiza la vigilancia para la detección oportuna de otras amenazas fitosanitarias, tales como: a) Marchitez bacteriana del plátano (*Xanthomonas vasicola* pv. *musacearum*), para el cual se han realizado 404,363 encuestas, 222,560 sitios explorados y 20,392,190 plantas inspeccionadas, b) Cogollo racimoso del banano

(*Banano bunchy top virus*) con 403,583 encuestas, 221,781 sitios explorados y 20,369,237 plantas inspeccionadas y C) Mosca del banano (*Bactrocera musae*) con 242 encuestas.

Durante el periodo de 2011 a 2023, se analizaron un total de 172 muestras sospechosas a Marchitez bacteriana del plátano, 164 muestras sospechosas a Cogollo racimoso del banano, resultando todas negativas. Ante una eventual detección de dichas plagas, se han elaborado los planes de acción para implementar las medidas de contención y en su caso erradicación, correspondientes. En un futuro, las estrategias que se han contemplado en el Plan estratégico para la atención marchitez por *Fusarium*, se desarrollarán para las demás plagas ausentes de México.

Retos a corto y mediano plazo

Los retos a corto y mediano plazo son: 1) Detección temprana de la enfermedad para contenerla y controlarla, 2) Obtención de una variedad tolerante a la marchitez por *Fusarium*, 3) Generar un esquema de manejo integrado para “convivir” con dicha plaga y 4) concientización de los productores sobre la amenaza de las plagas del banano.

Consideraciones finales

Como resultado de las acciones de exclusión y prevención que realiza México, se ha evitado la introducción de la marchitez de las musáceas por *Fusarium*, protegiendo las 85,641 hectáreas establecidas con cultivo de plátano en nuestro país, que producen 2,593,024 toneladas, con un valor de la producción de 10,547,245,160 pesos (SIAP, 2023).

Se ha protegido la fuente de ingresos que representa el cultivo del plátano para los productores y trabajadores del sector, que genera 100,000 empleos directos y 164,000 empleos indirectos (CSPPN, 2023).

México cuenta con personal técnico capacitado del Comité Sistema Producto Plátano Nacional A.C., Organismos Auxiliares de Sanidad Vegetal y del Senasica, así como, con medidas preventivas basadas en riesgo asociadas a las vías de introducción de Foc R4T y con un Plan de Acción para implementarse ante una incursión de la plaga, de ser el caso.

Agradecimientos

Al Comité Sistema Producto Plátano Nacional A.C., y a toda a aquella persona que realiza actividades tendientes a la prevención de la plaga.

REFERENCIAS

1. CIPF. 2016. Protocolos de diagnóstico para las plagas reglamentadas. Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias 27. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF). <https://www.fao.org/3/cb2615es/cb2615es.pdf>. Consulta el 15 de diciembre de 2023.
2. CSPPN. 2023. Ficha informativa del cultivo de plátano en México. Comité Sistema Producto Plátano Nacional A.C. 2 p.
3. Dita MA, Waalwijkb C, Buddenahagenc IW, Souza MT and Kema GHJ. 2010. A molecular diagnostic for Tropical Race 4 of the banana *Fusarium* wilt pathogen. *Plant Pathology*, 59: 348-357. <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-3059.2009.02221.x>. Consulta el 3 de diciembre de 2023.
4. Dita RMA, Echegoyén RPE y Pérez VLF. 2013. Plan de contingencia ante un brote de la Raza 4 Tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en un país de la región del OIRSA. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). San Salvador, El Salvador. 155p.
5. Senasica. 2018. Protocolo de diagnóstico *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (Marchitez por *Fusarium*). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica). 28p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/812367/Prot_Fusarium_oxysporum_f.sp.cubense_Raza_4_Tropical_compressed.pdf. Consulta el 15 de diciembre de 2023.
6. SIAP. 2023. Anuario Estadístico de la producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). <http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consulta el 29 de diciembre de 2021.

Integrated management of FOC TR4 in bananas: The Philippine experience

Benny M. Corcolon

Tagum Agricultural Development Company Inc.

***Autor de Correspondencia:**
Benny M. Corcolon

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023
Aceptado:
15 Enero, 2024
Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Corcolon BM. 2024.
Integrated management of
FOC TR4 in bananas: The
Philippine experience.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
85
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2485](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2485)



The Philippines is still one of the top global producers of Cavendish bananas and the primary exporter in Asia. Despite some challenges, Cavendish banana remains to be the second leading export commodity of the country valued at USD1.1B. However, in recent years, there was a steady decline in the Cavendish production areas brought about by the threat of *Fusarium* wilt TR4. Based on official government report, the total area planted to Cavendish in 2022 was 84,328 hectares which was 0.6% lower than the previous year due to abandonment or shifting to alternative crops in some of the affected areas. While the 2023 Cavendish banana production area has not yet been officially reported, further decrease in area is expected. *Fusarium* wilt TR4 is mainly confined in the Davao Region of Southern Philippines where the major commercial banana plantations are located. More than 50% of the total Cavendish area are operated by corporate farms that are members of the Pilipino Banana Growers and Exporters Association (PBGEA) while the rest are owned by independent banana growers.

An integrated disease management approach was already developed by each corporate banana plantation and is generally being implemented to prevent further occurrences of FW TR4. This was based on the concepts of early detection, early eradication and area isolation. Biosecurity protocols are in place to prevent spread of the disease. The infected plants are eradicated either through rice husk burning or chopping of infected plants and treated with Urea. The use of beneficial microorganisms such as *Trichoderma* and other biocontrol agents is widely adopted as supplemental treatment for infected sites. An effective weed control program is also an integral part of managing the disease as some weed species are known to be possible reservoir of the fungal pathogen. The construction of deep perimeter canals and regular maintenance of primary and secondary canals are as important to ensure good drainage conditions.

The Philippine banana industry has resorted to the use of the Taiwan Banana Research Institute's GCTCV somaclones to avert widespread outbreak of the disease. A series of field evaluations of these GCTCV somaclones have been conducted to identify the most promising somaclone that is resistant to TR4 coupled with stable

agronomic characteristics and good market potential. GCTCV 218 was initially identified to be the best somaclone that can be grown commercially and with better market acceptability. To date, selections from the original GCTCVs have already been developed and used to replant areas that were affected with TR4. The use of these somaclones/selections not only prevented rapid spread of TR4 but also provided the banana industry ample time to developed the integrated disease management approaches for TR4.

Manejo integrado de la marchitez por *Fusarium* Raza 1: la experiencia brasileña

Fernando Haddad; Edson Perito Amorim; Leandro de Souza Rocha

Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas – BA, Brasil.

*Autor de

Correspondencia:

Fernando Haddad

Fernando.haddad@embrapa.br

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Fitosanidad

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Haddad F, Perito AE y de Souza RL. 2024. Manejo integrado de la marchitez por *Fusarium* Raza 1: La experiencia brasileña.

Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia 1(1): 86

<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2486>

INTRODUCCIÓN

La bananicultura brasileña se destaca entre las cinco más grandes del mundo, con una producción aproximada de 6,8 millones de toneladas en 457,410 mil hectáreas cultivadas (IBGE, 2023). Cabe señalar que las estadísticas brasileñas no distinguen entre la producción de plátano y banano. Actualmente, el cultivo brasileño se basa principalmente en cultivares del subgrupo Prata, con énfasis en BRS Prata-Anã (AAB), clon Prata Gorutuba y Prata Catarina. Sin embargo, cultivares como 'Grande Naine', 'Nanica' y 'Nanicão', pertenecientes al subgrupo Cavendish, principal fruto de exportación de la producción mundial, también cobran relevancia en los cultivos del Sudeste y Sur de Brasil. La cultura del banano está extendida por todo el territorio brasileño, con énfasis en las regiones Nordeste y Sudeste, responsables respectivamente por 35,1 y 33,5% del volumen total de producción en 2022 (IBGE, 2023). Sin embargo, el cultivo enfrenta desafíos fitosanitarios constantes y ampliamente distribuidos geográficamente, destacando problemas relacionados con hongos y nematodos.

En las principales regiones de bananicultura en Brasil, las mayores pérdidas en la producción, en cultivares del subgrupo Prata y Manzano, están asociadas a la marchitez por *Fusarium* raza 1, agravadas por la presencia de nematodos, principalmente del género *Meloidogyne* spp. y *Radopholus similis*, presentes en las principales regiones productoras de banano. Por ejemplo, en el Norte de Minas Gerais (NMG), hay pérdidas del 100% en bananeras del subgrupo Prata. Existe consenso en que el control cultural y biológico aplicado de manera individual no es eficiente en el control de la enfermedad en variedades susceptibles. En NMG, algunos productores han derribado las bananeras de 'Prata', susceptibles al patógeno, con una alta incidencia de marchitez por *Fusarium*, y han plantado cultivares del subgrupo Cavendish, resistentes a la raza 1 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). Sin embargo, las variedades tipo Cavendish tienen un menor valor en el mercado brasileño y, en condiciones de alta densidad de inóculo y estrés ambiental, pueden verse afectadas y favorecer el surgimiento de nuevas poblaciones del patógeno, más agresivas y con virulencia diferenciada.



La resistencia genética destaca como la opción de manejo más eficaz y sostenible para la enfermedad (Stover, 1986). Sin embargo, el uso de variedades resistentes en el control de la enfermedad es limitado debido a la variabilidad genética del patógeno (Rocha et. al, 2022; Batista et. al, 2022; Costa et. al, 2014) y a la suplantación de la resistencia causada por la infección por nematodos, principalmente *R. similis* (Rocha et. al, 2020).

La interacción entre nematodos y Foc en el banano es clave para la eficiencia de la resistencia. En los trabajos de Embrapa, la estrategia para el manejo de la marchitez por *Fusarium* combina el control genético y el control biológico. Para ello, se cuenta con tecnologías en fase de registro de dos productos biológicos para el manejo de nematodos y la marchitez por *Fusarium* en el Ministerio de Agricultura brasileño. Estas tecnologías, agregadas al control genético, tienen control total de la marchitez por *Fusarium* en invernaderos y campo. La principal tecnología desarrollada para integrar el manejo de la enfermedad es un aislado de *Trichoderma asperellum*, con muy buenos resultados a nivel de campo (Haddad et al., 2018). La estrategia para la utilización del control biológico es trabajar no solo en el efecto directo del agente sobre Foc, sino también utilizar microorganismos que estimulen el desarrollo de las plantas de banano, proporcionando nutrientes y promoviendo el crecimiento (Moreira et al., 2021). Otro factor a destacar en la utilización de microorganismos antagonistas a Foc es la protección de genotipos resistentes frente a la suplantación de esa resistencia por parte del patógeno.

El programa brasileño de mejoramiento genético del banano se inició en 1983 por Embrapa, a partir de la formación de una extensa colección de germoplasma proveniente de expediciones de recolección realizadas en Asia, África y América. La base de los trabajos está asociada con hibridaciones entre diploides y cultivares comerciales, y tiene como objetivo desarrollar progenies con resistencia a enfermedades, alta productividad y mayor calidad de los frutos (SOARES et al., 2021). Los primeros cruces se realizaron entre diploides salvajes recolectados en las expediciones y los cultivares Prata-Anã y Pacovan, y en menor escala con Manzano. Después de una década de cruces, Embrapa comenzó a utilizar diploides mejorados en los cruces como donantes de polen. La ventaja del uso de diploides mejorados radica en la capacidad de agregar diferentes fuentes de resistencia a enfermedades y características agronómicas demandadas por los productores en un solo híbrido, mediante el cruce entre diferentes diploides salvajes. Embrapa posee una colección de diploides mejorados, todos con resistencia a la marchitez por *Fusarium* raza 1 (Foc R1), muchos también con resistencia a Sigatoka negra, así como diploides con resistencia a *Fusarium* raza tropical 4 (Foc R4T) (ROCHA et al., 2021).

Para desarrollar nuevas variedades, Embrapa utiliza tres estrategias de mejoramiento: 1) hibridación entre cultivares comerciales y diploides mejorados; 2) inducción de variantes somaclonales *in vitro*; y 3) inducción de mutantes mediante irradiación con rayos gamma. La primera estrategia ha permitido el lanzamiento de varias variedades, destacando BRS Platina (híbrido tipo Prata resistente a Foc R1 y R4T) y BRS Princesa (híbrido tipo Manzano resistente a Foc R1 y R4T). Un nuevo híbrido tipo Prata, llamado Embrapa 2, está en evaluación en áreas de productores en Brasil, mostrando un excelente rendimiento agronómico, que podría propiciar su lanzamiento oficial en 2025. Este híbrido es resistente a Foc R1 y Sigatoka negra, y está siendo probado para resistencia a Foc R4T en Colombia.

La segunda estrategia de mejora está asociada con la inducción de variantes somaclonales *in vitro* de los tipos Prata y Cavendish. Este trabajo ha permitido la selección de somaclones resistentes a Foc raza subtropical 4 (Foc ST4), que es más agresiva y virulenta que Foc R1, endémica en Brasil (REBOUÇAS et al., 2021; FERREIRA, et al. 2020). Los somaclones están en validación agronómica en áreas de productores y, si muestran características demandadas por los productores, tienen potencial para lanzamiento futuro. Los resultados preliminares indican que la mayoría de los somaclones no difieren de las variedades comerciales susceptibles a Foc en cuanto a características agronómicas y sensoriales.

La última estrategia de mejoramiento utilizada por Embrapa utiliza irradiación gamma para generar mutantes derivados de las variedades Prata-Anã, Prata Catarina, Williams, Grande Naine y Valery con resistencia a Foc ST4. Esta línea de investigación comenzó en 2022 y los resultados iniciales se obtuvieron en 2023, con la selección de los primeros mutantes resistentes a Foc ST4 obtenidos a partir de la variedad Valery. Miles de mutantes putativos están siendo evaluados para resistencia o están en etapas de multiplicación en este momento. En colaboración con AgroSavia (Colombia), la Universidad de Stellenbosch (Sudáfrica) y el Instituto de Investigación Agrícola de Mozambique (IIAM, Mozambique), los mutantes resistentes serán evaluados contra Foc R4T, con trabajos que comenzarán en 2024. Esta tecnología tiene la capacidad de generar miles de mutantes putativos, que requieren una preselección antes de las pruebas de resistencia a Foc R4T en campo, considerando que Brasil está libre de esta enfermedad.

El mejoramiento de Cavendish por hibridación se lleva a cabo en Embrapa desde 2021, gracias a un convenio con Corbana (Costa Rica). Hasta la fecha actual, se han desarrollado cuatro híbridos en Brasil y uno en Costa Rica, resultado del cruce entre cultivares comerciales y diploides mejorados desarrollados por Embrapa. Los híbridos producidos en Brasil son triploides, y dos de ellos fueron plantados en el campo en

2023 para su caracterización agronómica. Un segundo proyecto de cooperación fue firmado a finales de 2021 con AgroSavia y Augura, con el objetivo de desarrollar híbridos del tipo Cavendish mediante cruces entre cultivares comerciales y diploides mejorados. Este trabajo está en curso tanto en Brasil como en Colombia.

El programa de mejoramiento de Embrapa tiene como líneas de investigación complementarias actividades de edición genética mediante CRISPR, para la tolerancia a la sequía y la resistencia a *Fusarium* raza 1, específicamente utilizando la variedad Prata-Anã como modelo. Además, se suma la duplicación de cromosomas de diploides con el objetivo de desarrollar triploides secundarios mediante hibridación y estudios de biología avanzada, especialmente la identificación de genes asociados con la resistencia a Foc R1, están en curso, con resultados prometedores.

Los trabajos desarrollados en Embrapa y antes descritos, tienen como objetivo principal proporcionar al agricultor tecnologías para una producción más sostenibles e integrada, capaz de minimizar pérdidas de producción y mantener el área plantada; además, de contribuir con la producción de alimentos saludables.

REFERENCIAS

1. BATISTA, I.; HECK, D.W.; SANTOS, A.; ALVES, G.; FERRO, C.; DITA, M.; HADDAD, F.; MICHEREFF, S.J.; CORREIA, K.C.; SILVA, C.F.B.; MIZUBUTI, E.S.G. The population of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in Brazil is not structured by VCG or by geographic origin. *Phytopathology*, v. 125, p. 1-54, 2022.
2. COSTA, S. N.; BRAGANÇA, C. A. D.; RIBEIRO, L. R.; [AMORIM, E. P.](#); OLIVEIRA, S. A. S.; [DITA, M. A.](#); LARANJEIRA, F. F.; HADDAD, F. Genetic structure of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in different regions from Brazil. *Plant Pathology (Print)*, v. 64, p. n/a-n/a, 2014.
3. [HADDAD, F.](#); ROCHA, L.S.; SOARES, A.C.F.; MARTINS, I.P.S.; TEIXEIRA, L.A.J.; STAVER, C.; DITA, M. Management of Fusarium wilt of bananas in Minas Gerais, Brazil. *Acta Horticulturae*, v. 1, p. 137-146, 2018.
4. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<https://ibge.gov.br>. Acesso em 10 de novembro de 2023.
5. MOREIRA, F.M.; CAIRO, P.A.R.; BORGES, A.L.; SILVA, L.D.; HADDAD, F. Investigating the ideal mixture of soil and organic compound with *Bacillus* sp. and *Trichoderma asperellum* inoculations for optimal growth and nutrient content of banana seedlings. *South African Journal of Botany*, v. 137, p. 249-256, 2021.
6. ROCHA, A.J.; FERREIRA, M.S.; ROCHA, L.S.; OLIVEIRA, S.A.S.; AMORIM, E.P.; MIZUBUTI, E.S.G.; Haddad, F. Interaction between *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and *Radopholus similis* can lead to changes in the resistance of banana cultivars to Fusarium wilt. *European Journal of plant pathology*, v. 157, p. 1, 2020.

7. ROCHA, A.J.; SOARES, J.M.S.; NASCIMENTO, F.S.; ROCHA, A.S.; AMORIM, V.B.O.; RAMOS, A.P.S.; FERREIRA, C.F.; HADDAD, F.; AMORIM, E.P. Molecular, Histological and Histochemical Responses of Banana Cultivars Challenged with *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* with Different Levels of Virulence. *Plants*, v. 11, p. 2339, 2022.
8. STOVER, R. H., BUDDENHAGEN, I. W. Banana breeding: Polyploidy, disease resistance and productivity. *Fruits*, v. 41, p. 175-191, 1986.
9. Soares, J.M.; Rocha, A.J.; Nascimento, F.S.; Santos, A.S.; Miller, R.N.; Ferreira, C.F.; Amorim, E.P. Genetic improvement for resistance to black Sigatoka in bananas: A systematic review. *Front. Plant Sci.* 2021, 12, doi:10.3389/fpls.2021.657916.
10. Rocha A.J.; Soares J.M.D.S.; Nascimento F.D.S.; Santos A.S.; Amorim V.B.O.; Ferreira C.F.; Haddad F.; Santos-Serejo J.A.D.; Amorim E.P. Improvements in the Resistance of the Banana Species to Fusarium Wilt: A Systematic Review of Methods and Perspectives. *J Fungi (Basel)*. 2021 Mar 25;7(4):249. doi: 10.3390/jof7040249. PMID: 33806239; PMCID: PMC8066237.
11. Rebouças, T. A.; de Jesus Rocha, A.; Cerqueira, T. S.; Adorno, P. R.; Barreto, R. Q.; dos Santos Ferreira, M.; ... & Amorim, E. P. Pre-selection of banana somaclones resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, subtropical race 4. *Crop Protection*, 2021, 147, 105692.
12. Ferreira, M. D. S.; Moura, É. R. D.; Lino, L. S. M.; Amorim, E. P.; Santos-Serejo, J. A. D.; & Haddad, F. (2020). Selection of somaclonal variants of the cultivar 'Prata-Anã' for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 1. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 42(6), 1-10.

Amenazas fitosanitarias para la producción de musáceas en América Latina y el Caribe

Miguel Dita; Jorge E Vargas

Alianza Bioersity International y el CIAT, Cali Colombia.

***Autor de Correspondencia:**
Miguel Dita
m.dita@cgiar.org

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023
Aceptado:
15 Enero, 2024
Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Dita y Vargas JE. 2024.
Amenazas fitosanitarias
para la producción de
musáceas en América
Latina y el Caribe. *Acorbat
Revista de Tecnología y
Ciencia* 1(1): 87
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2487](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2487)



RESUMEN

Las musáceas son afectadas por diversos problemas fitosanitarios que, dependiendo de la susceptibilidad de la variedad, la agresividad del agente causal y las condiciones climáticas, pueden comprometer seriamente su producción y los medios de vida de quienes dependen de estos cultivos. En este trabajo solo se reportarán aquellos problemas fitosanitarios que por sus características epidemiológicas y relevancia económicas se consideran amenazas fitosanitarias para la región y América Latina y el Caribe (LAC). De esta forma, se consideraron siete enfermedades que fueron listadas en orden de importancia a criterio de los autores. Detalles sobre agentes causales, distribución y factores por los cuales esas enfermedades son consideradas amenazas fitosanitarias fueron también detallados en cada enfermedad. Al final se resumen factores epidemiológicos, socioeconómicos, institucionales que pueden acelerar la diseminación de esos patógenos en LAC, así como algunas orientaciones sobre estrategias de manejo.

Palabras clave: banano, Fitosanidad.

INTRODUCCIÓN

Amenazas fitosanitarias para la producción de musáceas en América Latina y el Caribe

Marchitez por *Fusarium* raza 4 Tropical (Foc R4T). Agente causal: *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, raza 4 Tropical (VCG 013/16)

- Ya está presente en LAC (Colombia, Perú y Venezuela)
- Alto poder de diseminación.
- Afecta un gran número de variedades, incluyendo a los plátanos.
- Las razas 1 y 2 del patógeno están presentes en la mayoría de los países de LAC y causan síntomas similares a Foc R4T. Eso puede dificultar la detección y manejo. Además, la pudrición blanda bacteriana y el moko, pueden formar complejos vasculares que dificultan su detección.
- No hay variedades resistentes

- f. El patógeno sobrevive en el suelo y en arvenses por décadas en ausencia del hospedante principal (banano). Nunca fue erradicada.
- g. En Colombia, actualmente se encuentran afectadas 19 fincas comerciales de exportación en los departamentos de La Guajira y Magdalena. Se han invertido alrededor de 22 millones de dólares para implementar medidas y contener la expansión del hongo *Fusarium* Raza 4 Tropical en el país.
- h. En Perú actualmente hay más de 360 pequeños productores de banano orgánico afectados, siendo que muchos de ellos han cambiado de cultivo.
- i. En Venezuela, hay plantaciones de banano afectadas en al menos tres estados y cinco municipios. Recientemente fueron reportados casos de la enfermedad en plátano AAB.

Virus del Cogollo racimoso del banano. Agente causal: Banana Bunchy Top Virus (BBTV)

- a. No está presente en LAC, pero su vector (*Pentalonia nigronervosa*), sí.
- b. Alto poder de diseminación.
- c. Afecta un gran número de variedades
- d. No se conocen fuentes de resistencia y nunca fue erradicado.
- e. No se conoce un plan de contingencia.
- f. Los laboratorios con capacidad inmediata de diagnóstico son escasos.
- g. Falta de formación de personal para detección y reconocimiento de la enfermedad en campo.
- h. En África, en la década de 1990, la enfermedad redujo la superficie dedicada a la producción de plátanos de 3500 ha a 800 ha en los distritos malauianos de Nkhatabay y Nkhotakota (Soko et al., 2009).

Moko. Agente causal: *Ralstonia solanacearum*, raza 2

- a. Está presente, pero con distribución restringida.
- b. Alto poder de diseminación y rápida destrucción de plantas afectadas.
- c. Puede enmascarar Foc R4T
- d. A pesar de que existen métodos de control relativamente efectivos, en los últimos años (2022 y 2023) se ha diseminado y causado grandes pérdidas en países como Ecuador y Colombia
- e. En Colombia, zona bananera de Urabá el número de focos positivos con Moko, paso de 1625 focos en 2020 a 2068 focos en 2022 y área productiva erradicada alrededor de 100Has. El moko en Colombia tiene presencia en 24 departamentos de 32 departamentos que tiene el país.

Marchitez bacteriana por *Xanthomonas* (BXW). Agente causal: *Xanthomonas vasicola* pv. *musacearum*

- a. No está presente en LAC, pero está avanzando rápidamente en África donde no está bajo control oficial en la mayoría de los casos.
- b. Alto poder de diseminación y destrucción de plantas afectadas.
- c. Otras (semejantes a Moko)
- d. En una década, la enfermedad se extendió a todos los países productores de plátano de África oriental y central. Solo en Uganda, se estiman pérdidas de 200-295 millones de dólares al año (Bloome et al., 2017).

Blood disease. Agente causal: *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis*

- a. No está presente en LAC, pero sus síntomas podrían confundirse con moko y retardar su detección. *R. syzygii* subsp. *celebesensis* es estrictamente relacionada a bananos y a *Heliconia*. No relacionada con las Solanaceaceas, como es el caso de *R. solanacearum*.
- b. No se conocen variedades resistentes
- c. Capacidad de diagnóstico molecular en la región LAC desconocida o nula
- d. Otra semejante a Moko
- e. En Indonesia se estiman pérdidas por la enfermedad del 36% en 1991 y pérdidas del 64% en el sur de Lampung en 1997, y pérdidas del 100% en Lombok y Sumbawa, (Dadrasnia et al., 2020). En otras zonas de Indonesia donde se cultivan bananos para subsistencia. Los agricultores informaron de pérdidas del 75-100% (Ray et al., 2021).

Peca /Freckle. Agentes causales: *Phyllosticta* spp. (*P. musarum* *P. maculata* y *P. cavendishi*)

- a. No está presente en LAC. Además de las hojas también afecta los frutos inviabilizando su comercialización.
- b. En Taiwán, Freckle desplazó la Sigatoka negra y se convirtió en la enfermedad foliar más importante (Arzanlou et al. 2007).
- c. Los fungicidas utilizados para sigatoka negra en general podrían funcionar, para su manejo, pero no hay estudios en LAC validando tales resultados.
- d. En Filipinas, casi el 60% de las frutas fueron rechazadas para la exportación sin el uso de fungicidas en el campo (Corcolon & Raymundo, 2008)

Mancha de Eumusae. Agente causal: *Pseudocercospora eumusa*

- a. No está presente en LAC, pero causa síntomas que pueden ser confundidos con manchas por sigatoka.
- b. Es necesario diagnóstico de laboratorio, el cual puede no estar disponible.
- c. No se conoce como se comportaría en las situaciones ambientales de LAC.

- d. Los fungicidas utilizados para sigatoka negra en general pueden funcionar para su manejo, pero no hay estudios en LAC validando tales resultados.
- e. En la India la enfermedad presenta una incidencia en un rango de 3,33-43,90%. (Milsha et al., 2022) con pérdidas de rendimiento del 20-40% (Carlier et al., 2000).

Factores epidemiológicos, socioeconómicos, institucionales que pueden acelerar la diseminación de esos patógenos en LAC.

Dentro de los factores que viabilizan o aceleran la diseminación de esos patógenos y pueden retardar su detección están:

- a. Existe un corredor musáceas desde México hasta Argentina que, inclusive, sin la intervención antropología (solo considerando aspectos biofísicos), facilita la dispersión de patógenos. Muchas de esas plantaciones están abandonados o mal manejadas y se convierten en hospederos de plagas y enfermedades.
- b. Todos los años en las regiones productoras de Musáceas ocurren fuertes lluvias que provocan el arrastre de materia vegetal, suelo y estructuras reproductivas de patógenos son comunes.
- c. Existen movimientos informales de material de siembra, equipos, mano de obra, materiales e insumos entre continentes y países que facilita el movimiento de suelo y material vegetal que puede diseminar patógenos fácilmente, tanto intra - como transcontinental
- d. Las razas de Foc R1 y R2 están presentes en la mayoría de los países de LAC y provocan síntomas similares a los de Foc TR4. Los eventuales brotes de Foc R4T en variedades comúnmente afectadas por Foc R1 y R2 (ejemplo: Manzano, Gros Michel, Bluggoe) pueden pasar desapercibidos, retrasar la detección de nuevos brotes de Foc R4T y facilitar la propagación de la enfermedad. De igual manera y no menos importantes están las pudriciones bacterianas y el moko que solas y/o formando complejos vasculares dificultan la detección de nuevos patógenos.
- e. La protección fitosanitaria es responsabilidad de las Organizaciones Nacionales de Protección Fitosanitaria (ONPFs) que dependen marcos legales y no siempre tienen los recursos necesarios para enfrentar plagas cuarentenarias. Adicionalmente, los escenarios políticos influyen en gran medida a las ONPFs provocando rotación de técnicos ya capacitados.

Desafíos para el manejo de amenazas fitosanitarias.

1. **Exclusión.** La exclusión como principio de manejo ha adquirido mayores dimensiones con la detección de Foc R4T en LAC. El uso de medidas de bioseguridad y de material de siembra libre de enfermedades son fundamentales. Sin embargo, esas medidas aún son una realidad lejana para más del 90% de los productores de LAC.
2. **Detección temprana y erradicación de plantas enfermas.** La plantación debe ser monitoreada periódicamente para detectar, diagnosticar y erradicar plantas

enfermas. Las ONPF deben ser informadas urgentemente sobre los síntomas asociados con las enfermedades cuarentenarias.

3. **Uso de variedades resistentes.** El factor más importante para el manejo de enfermedades. Se han logrado algunos avances en la generación de somaclones tolerantes a Foc R4T. Sin embargo, a la fecha de hoy no existen variedades resistentes que puedan ser utilizadas comercialmente para ninguna de las enfermedades mencionadas anteriormente.
4. **Manejo integrado.** Se debe considerar el conjunto de prácticas y tecnologías que se describen a continuación, respetando siempre las particularidades de cada sistema de producción.
 - a. Utilizar material de siembra libre de plagas y enfermedades.
 - b. Identificar y manejar factores de riesgos de entrada y diseminación de patógenos.
 - c. Identificar y manejar factores de predisposición asociados al uso del suelo y el agua. Por ejemplo, los suelos con mal drenaje, con tendencia a encharcarse, favorecen mayores niveles de intensidad tanto de manchas foliares como de enfermedades vasculares. Los daños causados por el picudo del banano (*Cosmopolites sordidus*) y los nematodos (*Meloidogyne* spp. *Radopholus similis*, *Helicotylenus* spp.) pueden aumentar la intensidad de las enfermedades citadas.
 - d. Usar agentes de control biológico que hayan sido validados para la enfermedad y sistemas de producción considerados, siempre como un componente del manejo integrado.
 - e. En zonas muy favorables al patógeno el control químico de enfermedades foliares es fundamental. Se deben tomar decisiones utilizando parámetros epidemiológicos. El control químico ha demostrado ser ineficaz en el manejo de enfermedades vasculares citadas en este documento.

REFERENCIAS

1. Arzanlou, M., Abeln, E. C. A., Kema, G. H. J., Waalwijk, C., Carlier, J., Vries, I., Guzmán, M., And Crous, P. W. 2007. Molecular diagnostics for the Sigatoka disease complex of banana. *Phytopathology* 97:1112-1118. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-97-9-1112>
2. Blomme G, Dita M, Jacobsen KS, Pérez Vicente L, Molina A, Ocimati W, Poussier S and Prior P (2017) Bacterial Diseases of Bananas and Enset: Current State of Knowledge and Integrated Approaches Toward Sustainable Management. *Front. Plant Sci.* 8:1290. doi: 10.3389/fpls.2017.01290.
3. Carlier, J., Zapater, M.F., Lapeyre, F., Jones, D.R., Mourichon, X., 2000. Septoria leaf spot of banana: a newly discovered disease caused by *Mycosphaerella eumusae* (anamorph *Septoria eumusae*). *Phytopathology*. 90 (8), 884–890. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2000.90.8.884>. *Proceedings*, 9, 673–6.

4. Corcolon BM, Raymundo AD, 2008. Estimating yield losses in banana due to freckle disease caused by *Phyllosticta musarum* (Cke) Van der Aa. *Philippine Journal of Crop Science* 33, 75–85.
5. Dadrasnia, A., Usman, M.M., Omar, R., Ismail, S., Abdullah, R., 2020. Potential use of *Bacillus* genus to control of bananas diseases: approaches toward high yield production and sustainable management. *Journal of King Saud University-Science*, 32(4):2336-2342.
6. Milsha George ; K. Anita Cherian ; Deepu Mathew (2022). Symptomatology of Sigatoka leaf spot disease in banana landraces and identification of its pathogen as *Mycosphaerella eumusae*. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 21 (2022) 278–287. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.09.004>.
7. Ray, J.D., Subandiyah, S., Rincon-Florez, V.A., Prakoso, A.B., Mudita, I.W., Carvalhais, L.C., Markus, J.E.R., O'Dwyer, C.A., Drenth, A., 2021. Geographic expansion of banana blood disease in Southeast Asia. *Plant Disease*, 105(10):2792-2800. DOI: 10.1094/PDIS-01-21- 0149-RE
8. Soko MM, Dale J, Kumar PL et al., 2009. *Banana Bunchy Top Disease Survey Reports, Previous Control Efforts and the Way Forward*. Limbe, Malawi: Bvumbwe Agricultural Research Station.

Manejo integrado de plagas emergentes en bananos y plátanos

César Guillén Sánchez

Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica

***Autor de
Correspondencia:**
César Guillén Sánchez
cesar.guillen@ucr.ac.cr

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023
Aceptado:
15 Enero, 2024
Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Guillén SC. 2024. Manejo
integrado de plagas
emergentes en bananos y
plátanos. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 88
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2488](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2488)



El Manejo Integrado de Plagas (MIP) como estrategia se ha abocado en integrar las prácticas culturales, biológicas, físicas, químicas, genéticas y etológicas para mitigar los daños causados por los insectos en los cultivos (USDA-ARS 2018). De acuerdo con la FAO 2024, el MIP se desarrolló como respuesta al uso constante y creciente de los plaguicidas que trajo como resultado la resistencia y el surgimiento de plagas secundarias. Los alcances de estas estrategias de manejo se han enfocado en buena medida en lograr un uso racional de los agroquímicos, alcanzar una agricultura ambientalmente más sostenible y mejorar la salud de los trabajadores y consumidores.

Para complementar esta definición, se debe de integrar otros factores que interviene en la regulación natural de los insectos, tal es el caso del clima, la salud de la planta, las interacciones inter e intraespecíficas, el sistema donde se desarrolla el cultivo, el suelo y sus características físicas y químicas, los arreglos de siembra entre otros parámetros, por lo que el concepto de MIP debe ir más allá y plantearse un Manejo Agroecológico del Cultivos como enfoque más holístico e integrador en la agricultura moderna (Deguine et al., 2017).

Los bananos habían sido poco afectados por plagas insectiles, sin embargo, a partir de la década de los 50s los problemas se incrementaron como producto de las aplicaciones aéreas generalizadas de plaguicidas para el combate del trips de la mancha roja *Chaetanophthrips orchidii* (Stephens (1984). Posterior a esto, se ha observado que las plagas secundarias han sido cada vez más frecuentes o en algunos casos presentado un comportamiento cíclico el cual responde en parte a los desbalances en las cadenas tróficas, los cambios en los sistemas de producción o los incrementos cada vez más notorios en los factores abióticos como el clima que está favoreciendo directamente a los insectos.

En el cultivo de banano y plátano, se ha demostrado que la integración de estrategias de combate es la mejor opción para regular de manera exitosa y perdurable las plagas insectiles en el tiempo. De acuerdo con Beatista-Montealegre et al., 2020, para alcanzar su éxito debe de cumplir con tres principios fundamentales: 1. La prevención, la cual consiste en establecer medidas que eviten el establecimiento

temprano de las plagas en los estados fenológicos más susceptibles del cultivo. 2. El monitoreo de las plagas, para determinar de manera precisa, los patrones de distribución de los insectos y con esto establecer las mejores estrategias de combate y 3. La intervención, como método de combate integrado de plagas basado en las estrategias biológicas, culturales, genéticas, etológica, físicas y químicas.

En el siguiente resumen se abordan algunos ejemplos donde el MIP ha sido una herramienta fundamental para el manejo de las plagas insectiles en el cultivo de banano y plátano.

Las plagas de racimo son hoy día el principal problema con el que se enfrentan los productores de banano y plátano de la región, ya que éstas provocan daños directos sobre el producto de exportación. Específicamente con las cochinillas harinosas del género *Pseudococcus* y las escamas *Diaspis boidivalii* se ha demostrado que el combate químico no ha sido suficiente para eliminarlas por completo y por el contrario, se ha inducido a la resistencia, situación que ha llevado a realizar prácticas culturales, como la limpieza de los pseudotallos, la deshoja selectiva, el picado fino de los pinzotes infestados con insectos y el lavado de los protectores de racimo (cuellos de monja, prodex, daipas) (Guillen 2017).

Dada la necesidad en la búsqueda de otras estrategias de combate, recientemente, se ha promovido el combate biológico, principalmente basado en la conservación de enemigos naturales como los crisopidos de los géneros *Ceraeochrysa*, *Leucochrysa* (Insecta: Neuroptera); los coccinelidos de los géneros *Nephaspis* y *Cryptolaemus* spp. (Insecta: Coccinelidae) o los parasitoides de los géneros *Coccobius* y *Plagiomerus* los cuales poco a poco se han ido estableciendo en las fincas y regulando de manera natural las plagas que cada vez más afectan a los productores en todas las zonas bananeras del mundo.

El picudo negro, *Cosmopolites sordidus*, es otro ejemplo donde una sola estrategia de combate no ha sido la herramienta más efectiva para su combate, por el contrario, la integración de prácticas como el picado de los restos de cosecha acompañado de aplicaciones de organismos descomponedores, hacen que el ciclo de vida del insecto se vea interrumpido y por consiguiente una disminución en las poblaciones. El combate etológico basado en el uso de feromonas de agregación ha sido una herramienta ampliamente utilizada en todo el mundo para regular las poblaciones de esta plaga, al respecto Alpizar et al. (2012) encontraron una

disminución de más del 75% en 10 a 12 meses, empleando trampas con feromonas. El combate biológico en como herramienta de combate ha sido

El combate biológico de *C. sordidus* es sin duda una herramienta de las más eficientes, siendo el hongo *Beauveria bassiana* el agente biológico más ampliamente utilizado. Al respecto (Nankinga and Moore, 2000) encontraron una mortalidad de un 72% en condiciones de campo. Los nematodos entomopatógenos (NEP) son otra herramienta que se están introduciendo en el combate de esta plaga. Datos de invernadero demuestran que hasta un 100% en la mortalidad de las larvas de esta plaga, lo cual se potencializa con la capacidad de búsqueda de estos NEP (Amador et al., 2015).

Los cambios en los hábitos de los consumidores de bananos a nivel mundial y de aquellos que cada vez más preocupados por consumir frutos más ambientalmente saludables hace que los productores bananeros tengan que integrar de manera más frecuente las herramientas de manejo incluidas en el MIP. Por otro lado, la amenaza del FOC R4T hace que sea necesario trabajar de manera más integral en las plagas sobre todo de aquellas que están involucradas como vectores de este patógeno (Guillén et al., 2021).

REFERENCIAS

1. Alpizar, M. D., Fallas, M., Oehlschlager, A. C., & Gonzalez, L. M. (2012). Management of *Cosmopolites sordidus* and *Metamasius hemipterus* in Banana by Pheromone-Based Mass Trapping. *Journal of Chemical Ecology*, 38(3), 245–252
2. Amador, M., Molina, D., Guillen, C., Parajeles, E., Jiménez, K., & Uribe, L. (2015). Utilización del nemátodo entomopatógeno *Heterorhabditis atacamensis* CIA-NE07 en el control del picudo del banano *Cosmopolites sordidus* en condiciones In vitro. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 47-60
3. Bautista-Montealegre, L. G., Cardona, W. A., & Ospina-Parra, C. E. (2020). Manejo integrado de plagas (MIP) en el cultivo de plátano (*Musa AAB*). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-agrosavia.
4. Deguine, J.-P. (2017). Agroecological crop protection, A crop protection strategy for the future. In *Agroecol. Crop Prot.* (Springer), p. 247–249.
5. FAO. (20 de enero de 2024). Manejo Integrado de Plagas y Plaguicidas. <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/ipm/integrated-pest-management/es/>
6. Guillén, C. 2017. Manejos inadecuados que favorecen el incremento de las escamas del banano (*Diaspis boisduvalii*). Hoja divulgativa CORBANA. Limón, Costa Rica. N° 16-2017

7. Guillén, C., Tixier, P., Tapia Fernández, A., Conejo Barboza, A. M., Sandoval Fernández, J. A., de Lapeyre de Bellaire, L. 2021. Can the banana weevil *Cosmopolites sordidus* be a vector of *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense race 1? Unravelling the internal and external acquisition of effective inoculum. *Pest Management Science*, 6339
8. Nankinga, C.M., Moore, D. 2000. Reduction of banana Weevil populations using different formulations of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Biocontrol Science and Technology*, 10, 645–657.
9. Stephens, C. S. (1984). Ecological upset and recuperation of natural control of insect pests in some Costa Rican banana plantations. Perturbación ecológica y recuperación del control natural de plagas de insectos en algunas plantaciones de banano costarricenses. *Turrialba.*, 34(1), 101-105.
10. USDA-ARS (United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service). 2018. A national road map for integrated pest management. <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/OPMP/IPM%20Road%20Map%20FINAL.pdf>

Innovación para la sostenibilidad: Una apuesta por la resiliencia de la industria agroalimentaria

Patricia Toledo

VP Sustentabilidad CNA / Directora de Sostenibilidad y Asuntos Corporativos de Syngenta para Latinoamérica Norte. México.

***Autor de
Correspondencia:**

Patricia Toledo
patricia.toledo@syngenta.com

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Toledo P. 2024. Innovación para la sostenibilidad: Una apuesta por la resiliencia de la industria agroalimentaria.

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
89

<https://doi.org/10.62498/AR-TC.2489>

Para alimentar a una población en crecimiento y hacer frente a los retos que nos impone el cambio climático, es necesario transformar la agricultura y maximizar la productividad y la calidad de los alimentos, al mismo tiempo que restauramos la salud de nuestro planeta. La agricultura sostenible utiliza una combinación de mejores prácticas habilitadas por la tecnología de vanguardia para desarrollar sistemas alimentarios resilientes y prósperos que mejoren las condiciones de la cadena de valor.

En esta tarea, la Innovación para la sostenibilidad juega un papel fundamental para ofrecer al productor bananero, aquellas herramientas y soluciones tecnológicas integrales que contribuyen a maximizar la productividad y el rendimiento de su cultivo, de una forma sostenible.

La investigación científica, debe traducirse en el desarrollo de tecnologías con beneficios sostenibles para la industria bananera tanto en el ámbito social, como en el económico y medio ambiental. Esto es viabilizar herramientas que sean más seguros tanto para los organismos que no sean su objetivo, como para los operarios, al tiempo de dar soluciones a problemáticas como las presentadas por los nemátodos y enfermedades en el cultivo promoviendo un balance sostenible para la salud del suelo.

Actualmente, el cultivo de banano se enfrenta a nuevos retos derivados de las exigencias del mercado y del consumidor, lo cual implica obtener la mayor eficiencia en el uso de los insumos e impulsar la rentabilidad del cultivo, mientras se enfrentan problemáticas relacionadas con la falta de mano de obra, la baja productividad y los desafíos propios del cambio climático, que están ocasionando que tanto la estacionalidad como las plagas y enfermedades sean una prioridad a atender, como parte del manejo de riesgo.

El manejo de nemátodos y de enfermedades eco-respetuoso; y el mayor control en enfermedades y la atención en menos residuos, representan oportunidades y al mismo tiempo, soluciones, para favorecer un desarrollo sostenible en este sector. El conjunto de tecnologías y mejores prácticas que protegen la vida silvestre, el suelo y el agua, la complementariedad de tecnologías en protección de cultivos, más la genética de última generación, son herramientas fundamentales para las cadenas de valor, que apuestan por la resiliencia y sostenibilidad de la industria agroalimentaria.



La apuesta por la innovación para el sector bananero que contempla Syngenta tiene tres enfoques principales para atender los desafíos que enfrentan los agricultores y la cadena de valor: i) incorporación de productos controladores biológicos, ii) apropiación de criterios de sostenibilidad en el proceso de desarrollo de nuestro portafolio convencional de Protección de Cultivos, y iii) implementación de prácticas que permitan la recuperación de las condiciones de salud, mediante la regeneración de la microbiota y la mesofauna.

Incorporación de productos controladores biológicos

Hoy más que nunca, la forma de producir alimentos debe ser sensible a las necesidades actuales del planeta, pero también, a las expectativas y condiciones del mercado, de modo que, si bien, una producción con suficiencia y calidad para cumplir con los requerimientos alimenticios de la población sigue siendo un reto corriente, las exigencias sobre los medios y procesos de producción son hoy en día más estrictos. El consumidor demanda trazabilidad en la cadena de producción y responsabilidad por parte de los actores involucrados, lo que se constituye como un criterio de selección o de desestimación de un producto agrícola.

Ante este complejo escenario, la incorporación de controladores biológicos se presenta como la alternativa más efectiva para dar cumplimiento a estas presiones. Los productos de control biológico son más respetuosos con el medio ambiente y la salud humana, y presentan numerosas ventajas respecto a otros métodos de control. Sin embargo, es necesario tener en cuenta sus limitaciones y desafíos.

El control biológico es una técnica complementaria, y no un método para la sustitución de otros sistemas de control. En muchos casos, es necesario utilizar productos químicos para evitar la aparición de plagas demasiado agresivas o invasivas. El éxito del uso de controladores biológicos está fuertemente condicionado a una planificación y gestión adecuada, para garantizar que los organismos utilizados sean efectivos y no causen impactos no deseados, y demanda de mayor conocimiento y capacitación por parte de los agricultores, para poder aplicar las técnicas adecuadas y obtener los resultados deseados.

Entre las soluciones tecnológicas existentes para el productor bananero como parte de la oferta de controladores biológicos se encuentran:

1. Un fungicida biológico en base al extracto de caña (*Saccharum officinarum*) cuyo ingrediente activo son los ácidos urónicos, obtenidos a partir de bioprocesos controlados de fermentación microbiana. LICHTOR® es un producto biotecnológico, que gracias a su naturaleza y mecanismo de acción multienzimático, no permite que se presente resistencia en los fitopatógenos.
2. Biofungicida preventivo de amplio espectro de origen natural, a base de *Bacillus amyloliquefaciens* que estimula los mecanismos de defensa naturales de la planta. Su aplicación tiene como objetivo el control de enfermedades producidas por hongos en

distintos cultivos. Taegro® estimula los mecanismos de defensa naturales de la planta permitiendo su uso dentro de una estrategia integrada de plagas.

Incorporación de criterios de sostenibilidad en el desarrollo de nuestro portafolio químico

Como resultado de la incorporación de criterios de sostenibilidad en el proceso de innovación en soluciones de protección de cultivos, desarrollamos una nueva tecnología, TYMIRIUM™ technology 45 SC. Esta es una tecnología de fácil uso en aplicaciones al suelo, con potente actividad sobre nemátodos y enfermedades, manteniendo un balance sostenible para la salud del suelo. Alrededor de 4.000 ensayos en más de 100 sistemas de cultivos diferentes alrededor del mundo demuestran la excelencia de TYMIRIUM™ technology. Con 27 ensayos en banano a la fecha, hemos estado trabajando en paralelo con los residuos y ensayos de registro.

TYMIRIUM™ es un activo sistémico que es absorbido por las raíces de la planta y traslocado a la parte aérea de la misma. Su poder de control afecta la vida del nematodo en un tiempo corto después de su aplicación. Se diferencia respecto a otros SDHIs usados en banano por su amplio espectro en el control de nematodos parasíticos, por su superior efectividad biológica gramo a gramo que significa menores dosis y carga química, menores residuos. También se diferencia por proporcionar más días control, y por último, no menos importante, por su doble acción nematicida-fungicida.

Una tecnología de bajas dosis ofrece una menor carga química lo que se traduce en menos residuos. Además, el que cuente con un perfil toxicológico favorable, lo hace seguro para los aplicadores y para organismos que no sean su objetivo.

TYMIRIUM™ technology 45 SC es el perfecto ejemplo de cómo Syngenta invierte en innovación para poder ofrecer al productor bananero, las herramientas que contribuyen a maximizar el rendimiento de su cultivo, de una forma sostenible.

Implementación de prácticas que permitan la recuperación de las condiciones de salud, mediante la regeneración de la microbiota y la mesofauna

La salud del suelo es una de las mayores condicionantes de la productividad. Esta última, es consecuencia de la implementación de prácticas que procuren la mitigación de los efectos del cambio climático como la erosión, desertificación y pérdida de características y propiedades estructurales, fisicoquímicas y biológicas, así como los efectos antrópicos como el uso desmesurado de los recursos naturales y la aplicación indebida de productos para la protección de cultivos, entre otros.

La implementación de prácticas como la rotación de cultivos, la incorporación de vegetación acompañante, labranza mínima, el establecimiento de metas de reducción de carga

química, acompañadas de la medición y monitoreo de parámetros específicos y de la variación de estos en escalas de tiempo definidas, tiene el potencial para demostrar, como la biodiversidad y la salud del suelo pueden coexistir con la agricultura moderna y sostenible.

LivinGro® es un programa de Syngenta que promueve la agricultura regenerativa y la salud del suelo, a través del desarrollo e implementación de protocolos agronómicos tanto a nivel científico como directamente en el campo del agricultor.

Con la ayuda de más de 140 científicos de 30 diferentes organizaciones que incluyen universidades, institutos de investigación, organismos internacionales y asociaciones de agricultores, el programa busca diseñar y promover soluciones y métodos para mejorar la sostenibilidad de la agricultura, al tiempo de proteger el medio ambiente, la biodiversidad y la salud del suelo.

En suma, esta ponencia busca transmitir y mostrar cómo la innovación, basada en ciencia, es un disparador para atender los desafíos que está enfrentando la industria agroalimentaria y particularmente el sector de banano desde una visión ecosistémica, es decir, respetando el medio ambiente y asegurando el impacto social y económico, al tiempo de impulsar la seguridad alimentaria que requiere, como se señaló al inicio, una población creciente, pero también un mercado cada vez más exigente y comprometido con la sostenibilidad en todas las etapas del proceso de producción de alimentos.

Manejo de nutrición, agua y sostenibilidad del banano: La experiencia en Uraba, Colombia

Miguel A. Contreras

Frutas Chanitos, Tabasco, México

**Autor de*

Correspondencia:

Miguel A. Contreras
miguelangelcontreras@msn.com

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:
Contreras MA. 2024.
Manejo de nutrición, agua y
sostenibilidad del banano:
La experiencia en Uraba,
Colombia. *Acorbat Revista
de Tecnología y Ciencia*
1(1): 90
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2490](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2490)

INTRODUCCIÓN

El incremento robusto de la productividad con estándares de calidad internacionales, asociada con sostenibilidad a larga data del proceso productivo agrícola en cada una de las unidades de producción, constituyen los únicos recursos disponibles para visualizar un futuro promisorio en la industria bananera. La mayor parte de los diferentes modelos productivos tanto en América Latina y el Caribe como en el resto de las regiones tropicales y subtropicales húmedas y subhúmedas, han dado señales de agotamiento a lo largo del tiempo con pocas posibilidades de sostenerse y mucho menos lograr cambios significativos y ascendentes en materia de productividad.

Durante los años 2016-2022 el que esto escribe realizó un examen detallado de los factores que se encuentran asociados con la productividad del banano en la Región de Urabá, Colombia (7.5° LN), una de las regiones más recientemente abiertas al cultivo intensivo del banano para exportación en LATAM, con apenas 63 años de operación. La región bananera se asienta sobre suelos de origen aluvial procedentes de una cuenca hidrológica que corre por formaciones geológicas ígneas de procedencia granítica que baja de las montañas del Abibe e imprime tendencias ácidas a los bancos aluviales. Los suelos actuales se encuentran casi totalmente exentos de aportes de sedimentos nuevos de origen aluvial derivado de la ausencia de inundaciones de gran calado. El régimen pluviométrico presenta una variación de 2000 a 4000 mm, condicionado - en contraste- con la presencia de un periodo de déficit severo de humedad en el suelo entre diciembre y abril de cada año, que impacta en forma negativa tanto en una fuerte variación estacional de la producción durante el año agrícola como en el potencial productivo anual.

LAS ARISTAS EN LA DEGRADACIÓN DE SUELOS

El fenómeno de degradación de suelos agrícolas, -junto con la interacción del déficit severo de humedad en los suelos durante al menos 16-20 semanas del año agrícola, y en asocio con la cantidad baja de racimos embolsados y cosechados ha⁻¹



año⁻¹ -, puede ser considerados como los elementos de mayor peso específico asociados con las limitaciones de vigor, tamaño y peso del racimo que afectan los niveles de productividad en la mayoría de las fincas de la región bananera de Urabá.

El concepto degradación de suelos debe ser visto y analizado desde una perspectiva amplia y abarca capítulos asociados con procesos de erosión alta de la capa húmica superficial, la carencia muy alta de carbono (C) en el suelo debido empobrecimiento gradual de los contenidos de MO en los diferentes estratos, la eventual resistencia a la penetración, la reducción del metabolismo del suelo asociado con vida microbiana pobre, el fenómeno de acidificación agresiva de los suelos y sus consecuencias sobre la fitotoxicidad de metales solubles sobre la masa radical funcional, así como el impacto en la fertilidad de los suelos sobre la nutrición mineral de la planta.

La condición de suelos bananeros desnudos después de más de seis décadas de operación, mediante la utilización de modelos con base al uso exclusivo de herbicidas, en regiones con alto índice pluviométrico anual y con lluvias horarias de alta intensidad, se convierte en el primer elemento asociado con la pérdida de capa húmica en la parte más intemperizada y superficial de los suelos bananeros. Evidencias contundentes de este fenómeno en la industria bananera de Centro América y el Caribe fueron documentadas desde la primera década de siglo veinte y demuestran el impacto negativo sobre el vigor de la planta y consecuentemente el tamaño y peso del racimo en una proporción de 36% en términos reales durante un periodo de 23 años, con tasas anuales de reducción del orden de 1.57%. Esta tendencia se encuentra asociada directamente con los procesos naturales de degradación de suelos propios del ecosistema bananero y sus prácticas convencionales de manejo. Este escenario no dista mucho de lo que ha ocurrido en la región bananera de Urabá con el peso de racimo, al pasar de una media regional de 30 kg durante la primera década de desarrollo (1960-1970), a un promedio de 19-22 kg en el último quinquenio. En este sentido, es bastante probable que las plantaciones bananeras de Urabá han perdido una capa de suelos por lo menos de 0.01 m año⁻¹ (unas 120 ton ha⁻¹ año⁻¹), que contribuye adicionalmente en la sedimentación de niveles altos en toda la red drenaje parcelario y regional.

El agotamiento adicional de la fertilidad de los suelos en Urabá se encuentra estrechamente asociado con la pérdida de la MO. Esto se refiere no solo a la contribución de la capa húmica superficial, sino a contenidos extremadamente bajos en el área de exploración mayor del sistema radical. Los contenidos de MO en los suelos bananeros de Urabá se han degradado desde valores superiores al 8% presentes cuando se abrieron al cultivo comercial a principios de la década de los años sesenta, hasta valores promedio actuales de 1-2 % después de sesenta años de monocultivo.

Evidencias encontradas en la región demuestran un alto nivel de asociación entre los contenidos medios de MO en el estrato 0-0.6 m respecto al nivel de vigor de la planta. Las áreas o lotes que expresan siempre el mejor nivel de vigor en el interior de una finca son aquellos que exhiben casi el doble de MO respecto a lotes con vigor pobre. No obstante, en la región bananera de Urabá se ha encontrado un bajo nivel de correspondencia de solo 0.390 kg en el peso del racimo por cada 0.01 m de incremento en la circunferencia del pseudotallo a 1.0 m de altura sobre plantas recién paridas. Este valor bajo de correlación se encuentra asociado con el síndrome nutricional compuesto en su conjunto por las diferentes aristas asociadas con el fenómeno de degradación de suelos presente en la región. Los contenidos medios de MO en los primeros 0.90 m en los suelos bananeros de Urabá deberían ser al menos del 4% para asociarlos con vigores sustentables iguales o mayores a 0.80 m a 1 metro de altura y pesos de racimo medios sustentables superiores a 30 kg. Las evaluaciones indican que es necesarios un suministro de al menos 7 ton ha⁻¹ año⁻¹ de materia orgánica compostada de buena calidad e incorporada al suelo para lograrlo.

La resistencia a la penetración de los suelos bananeros o “compactación” en Urabá es un tema de controversia en su relación con los resultados obtenidos, y sobre todo en lo asociado con el costo-beneficio. La experiencia de medición en los diferentes ensayos conducidos sobre plantaciones establecidas en varios gradientes de suelos a lo largo del eje bananero con diferentes instrumentos o equipos y escalas, así como en diferentes épocas del año, han demostrado que independientemente del equipo y método a utilizar, es absolutamente indispensable tomar lecturas de evaluación sobre suelos con humedad a CC. Diferentes equipos con diferente sistema de medición demuestran lecturas menores entre 2.6 y 4.8 unidades tensión en suelos a CC vs mediciones en condición de déficit hídrico en el área de distribución radical del banano. Si bajo condiciones de CC los suelos evaluados reflejan valores iguales o menores de 2.5 Kgf (cm²), 150 PSI o 1.0 MPa, deberá interpretarse como suelos sin restricción alguna de resistencia al desarrollo del sistema radical y sobre el crecimiento de la planta de banano bajo condiciones de la región de Urabá.

Si se analiza con objetividad la pérdida agresiva de MO y su relación directa sobre la estructuración de los suelos y la caída en el peso del racimo, se encontrará también un impacto paralelo en la reducción de la vida microbiana asociada paralelamente con la reducción del espacio poroso del suelo y el incremento de la acidez. Evaluaciones cautelosas de respirometría se convierten en el mejor método disponible para diagnosticar la variación estacional del metabolismo del suelo y en consecuencia la cantidad de biomasa microbiana presente. Los hallazgos encontrados en el metabolismo de los suelos bananeros de Urabá, expresados por su tasa promedio

de respiración en el rango de 9.07 y 15.9 mg de CO₂ 100 gr de suelo⁻¹, pueden ser considerados en una primera aproximación como valores bajos o medios que permiten calificar un nivel medio-alto el deterioro de la salud de los suelos bananeros desde el punto de vista de la vida microbiana presentes en ellos.

El paulatino incremento en los procesos de acidificación de los suelos de Urabá ha generado uno de los fenómenos más limitantes para la productividad bananera de la región. Es un proceso químico que tiene que ver con el incremento gradual y paralelo de la fitotoxicidad de Al³⁺ (0.9 cmol (+) kg⁻¹) Mn²⁺ (13.58 mg kg⁻¹) y Fe²⁺ (153 mg kg⁻¹) que se han convertido en el principal depredador de la masa radical funcional (MRF) de los bananos y plátanos de la región. Los suelos bananeros de Urabá deben ser clasificados en la actualidad como fuertemente ácidos ya que el rango de pH puede fluctuar entre 5.6 en los estratos inferiores, hasta valores extremos de 4.5 y valores medios de 5.12 en la primera capa superficial de 0-0.30 m. Existe una relación muy estrecha entre el pH del suelo y la expresión del vigor de la planta, de tal forma que los valores más altos encontrados (5.6) entre 0.6 y 0.9 m de profundidad, se encuentran siempre asociados con vigores mejores disponibles en las fincas, cuando los vigores más pobres se asocian siempre a suelos con pH igual o menor a 5.0 en el perfil 0-0.60 m de profundidad. Sin embargo, el comportamiento de las relaciones anteriores es solo una expresión *indirecta* que se ve reflejada en el comportamiento *activo* y *directo* de varios elementos químicos metálicos, como el aluminio, manganeso y hierro presentes en forma conjunta en los suelos de Urabá y en cantidades fitotóxicas para el sistema radical de la planta. La cantidad de estos cationes metálicos son los que *determinan* las diferentes expresiones de vigor de las plantas de banano en la región debido a su efecto adverso y directo sobre el volumen de la masa radical funcional (MRF), la distribución espacial de las raíces que exploran el perfil del suelo, el vigor de la planta, y finalmente sobre el tamaño y peso del racimo. El peso fresco de la MRF media anual en las fincas de Urabá es de 40 gr en 6.75 dm³ de suelo en el primer estrato 0-03 m de profundidad en la interfase madre-hijo sucesor en unidades recién paridas.

El Ca²⁺ es el elemento clave de la productividad en los suelos bananeros de Urabá. Los contenidos en el estrato superior 0-0.30 m son en la actualidad del orden de 11.15 cmol (+) kg⁻¹ y se mantienen muy estables en toda el área de exploración de la masa radical. Sin embargo, los contenidos medios de Ca²⁺ a cualquier profundidad no aporta elementos que puedan explicar por si solos las diferentes expresiones de vigor y el tamaño del racimo en una misma finca y entre otras, aun cuando dichos contenidos puedan calificarse como cantidades medias o bajas respecto a otras regiones bananeras tropicales. Todo parece indicar que la disponibilidad del Ca por parte de la planta de banano se encuentra gobernada por el Índice Turner de disponibilidad de Ca para la

planta Ca ($k+Ca+Mg$), y este debe guardar un cociente óptimo de 0.7. La mayoría de los suelos bananeros de Urabá expresan una relación de 0.65. Esto indica que al mantener las cantidades actuales de K^+ y Mg^{2+} , existe la necesidad inmediata de incrementar el contenido medio de Ca^{2+} en $2.36 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ en casi todos los suelos de toda la región bananera de Urabá.

La pérdida histórica de Calcio en los suelos de Urabá ha sido a un ritmo anual de $0.21 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ en los últimos 35 años, al pasar de una media global de $18.47 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ (rango medio 15.54-22.65), que significa una pérdida de $7.32 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ respecto a los valores medios actuales. Este nivel alto de pérdida acumulada de Ca^{2+} de los suelos es equivalente a 5497 kg de Ca^{2+} o 7691 kg de $CaO \text{ ha}^{-1}$ en dicho periodo. De acuerdo con el modelo actual de manejo en el sistema de producción de banano en la región, para el año 2040 los contenidos de Ca en los suelos de Urabá podrían ser inferiores a $7.0 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ y se habrá generado -probablemente- un daño irreversible que implicaría consecuencias graves para la sostenibilidad de la industria bananera - que ya presenta-, desde hace varios años, señales claras de agotamiento en su modelo actual de producción.

La pérdida alta, gradual y acumulada de Ca, se encuentra estrechamente relacionada con el fenómeno de acidificación -también muy alto- que han sufrido los suelos bananeros de Urabá. La pérdida anual de 0.013 unidades de pH registrada en los últimos sesenta años se encuentra asociada con el deterioro acumulado de $12.3 \text{ cmol } (+) \text{ kg}^{-1}$ de Ca^{2+} desde que se abrieron los suelos de Urabá al cultivo del banano a principios de la década de los años sesenta del siglo veinte. Con el lavado superficial y las altas pérdidas por la lixiviación del Ca^{2+} en el suelo, el Al^{3+} ha ganado preponderancia en el complejo de cambio, así como las proporciones de Mn y Fe solubles, todos ellos con tendencia ascendente y de alto efecto para la fitotoxicidad del sistema radical.

IMPACTO DEL DÉFICIT y EXCESOS HIDRICOS EN EL SUELO

El impacto eco fisiológico del déficit de agua en los suelos bananeros de Urabá es en primera instancia el reflejo del desbalance anual de la oferta de fruta entre semestres (47/53 % primer y segundo semestre, respectivamente), así como la presencia valles y crestas estacionales de pariciones marcadamente asimétricos (30 y 60 racimos ha^{-1} semana⁻¹, respectivamente). También se encuentra estrechamente relacionado con la variación estacional alta del tamaño y peso del racimo a través del año (+/- 25 %), así como peso promedio regional del racimo relativamente bajo (22 kg bruto). A este contexto se suman los excesos estacionales de agua en el suelo. Ambos -déficit y excesos- interaccionan directa y permanente con el proceso gradual de

degradación de suelos. Esto significa que el comportamiento de todas las variables productivas asociadas con la ecuación del rendimiento del banano en la región de Urabá, se encuentran fuertemente condicionadas por las aristas que conforman el fenómeno complejo de degradación de suelos, y son finalmente determinadas por la variación estacional del comportamiento de la humedad en los suelos bananeros durante todo el año agrícola. El órgano más sensible a los cambios de humedad es el sistema radical. Los hallazgos demuestran que los suelos bananeros de Urabá con valores absolutos de humedad gravimétrica por debajo de 30 %, manifiestan un déficit severo de agua para la planta capaz de reducir hasta 50 % el peso y volumen de la masa radical funcional (MRF). Esto significa que durante los periodos de déficit hídrico severo en los suelos de Urabá (veranos), la MRF puede llegar a valores mínimos extremos de 20 gr. Por lo general, solo durante los meses de junio de cada año las plantas de banano logran un máximo de 60 gr de MRF al estabilizarse consistentemente la humedad del suelo a CC después del verano intenso. La variación estacional baja de la MRF se refleja en una disminución de la tasa de crecimiento relativa de la parte aérea de la planta, exactamente en la misma proporción durante los meses críticos de déficit hídrico en el suelo. La expresión del vigor en los diferentes lotes de una finca bananera de Urabá no se encuentra determinado necesariamente por el comportamiento en la capacidad de retención de humedad del suelo durante el periodo de déficit intenso de humedad (E, F, M, A), ya que la humedad gravimétrica se comporta exactamente igual y en los mismos niveles, para cualquier tipo de vigor presente en una plantación de la región.

EL RETO DE CAMBIAR HACIA MODELOS SUSTENTABLES DE PRODUCCIÓN

Un proceso ordenado y consistente de renovación anual de plantaciones en el interior de cada una de las fincas se convierte en el método operativo más adecuado para iniciar la hoja de ruta hacia la posibilidad real de instrumentar en forma gradual acciones correctivas que permitan ofrecer sustentabilidad en el mejoramiento de la productividad en la industria bananera de Urabá. Todo esto independientemente de la posibilidad real de instrumentar y/o mejorar sistemas de irrigación eficientes e inmediatos por las limitaciones de agua en el subsuelo de la región. Los modelos y planes de renovación de plantaciones a ocho años plazo, considerando el 12.5% anual del área total de cada finca con traslado de cosecha para la ventana del primer trimestre del año, se convierten en la mejor ventana de oportunidad para la instrumentación y seguimiento de los principales cambios que requiere la sustentabilidad y el mejoramiento de la productividad. Esto implica la reestructuración y renovación de la

red de drenaje terciario, la conformación correcta de botalones de cultivo y recuperación del área productiva, la roturación del suelo e incorporación mecánica de las enmiendas químicas y orgánicas del tipo y cantidad correcta para cada finca. Particular interés debe darse a nuevos y progresistas diseños de siembra, la definición de densidades poblacionales en función del vigor esperado de la planta, el manejo hortícola con base en el análisis de poblaciones y mejores prácticas de selección de hijos sucesores, que no busquen solo un dosel o canopy con menor entrada de luz al bananal para hacer eficiente, rentable y sostenible el manejo mecánico de la maleza, sino que condicionen también a lograr la meta de incremento en 2600 racimos embolsados y 2522 racimos procesados $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, respectivamente, en plantaciones establecidas. Estos procedimientos representan un enfoque alternativo de nuevas inversiones absolutamente necesarias para la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo del proceso productivo bananero. Pretender orientar el mejoramiento de la productividad sobre plantaciones bananeras en senescencia por encima de diez años, con manejo agrícola convencional y a punta de fertilizantes, sigue demostrando ineficacia en la mayoría de los casos y pocas posibilidades de un futuro promisorio sustentable a mediano y largo plazo con la expectativa real de precios internacionales estacados en la fruta.

Manejo de nutrición, agua y sostenibilidad de banano: la experiencia ecuatoriana

René Medina V

Quevedo – Ecuador

**Autor de*

Correspondencia:

René Medina V
reneamedinv@gmail.com

Contribución:

Científica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Medina R. 2024. Manejo de
nutrición, agua y
sostenibilidad de banano: la
experiencia ecuatoriana.

*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):

91

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2491

RESUMEN

Luego de la pandemia el mercado de Banano ha experimentado una disminución de la oferta de la fruta desde los países productores. Así mismo se han acentuado los requerimientos y exigencias en estos mercados, los que cada vez más demandan que la fruta provenga de sistemas de producción sostenibles. Este estudio evaluó una Propuesta de NUTRIFISIOLOGÍA para determinar si era posible incrementar la productividad, protegiendo los recursos naturales y fomentando el crecimiento económico sostenible de las plantaciones y sus áreas de influencia. Los resultados obtenidos mostraron un crecimiento en el rendimiento por hectárea año y además un uso más eficiente del recurso agua con lo que se concluyó que es posible pensar en una operación de producción sostenible.

Palabras clave: Agua, Banano, Sostenibilidad, NUTRIFISIOLOGÍA, Productividad.

INTRODUCCIÓN

La FAO (Food and Agriculture Organization) define cinco principios fundamentales de sostenibilidad para la alimentación y la agricultura.¹ Tres de estos principios se detallan a continuación:

- Aumentar la productividad, el empleo y el valor añadido en los sistemas de alimentación.
- Proteger e impulsar los recursos naturales.
- Mejorar los medios de subsistencia y fomentar el crecimiento económico sostenible.

Estos principios constituyeron el eje conductor de trabajos de investigación con una orientación de aplicabilidad pragmática que permitiera responder a esta interrogante ¿es posible un manejo sostenible en el cultivo de Banana, *Musa x paradisiaca* Linn?



Buscar respuesta a esta pregunta ha sido retador, considerando que los datos disponibles indican que las exportaciones mundiales de banano, sin incluir el plátano, sufrieron un descenso del 6,1 %, representando otro año de interrupción del rápido ritmo de crecimiento experimentado en los años anteriores a la pandemia. Las cantidades totales exportadas han descendido de 20,4 millones de toneladas en 2021 a aproximadamente 19,6 millones de toneladas en 2022.²

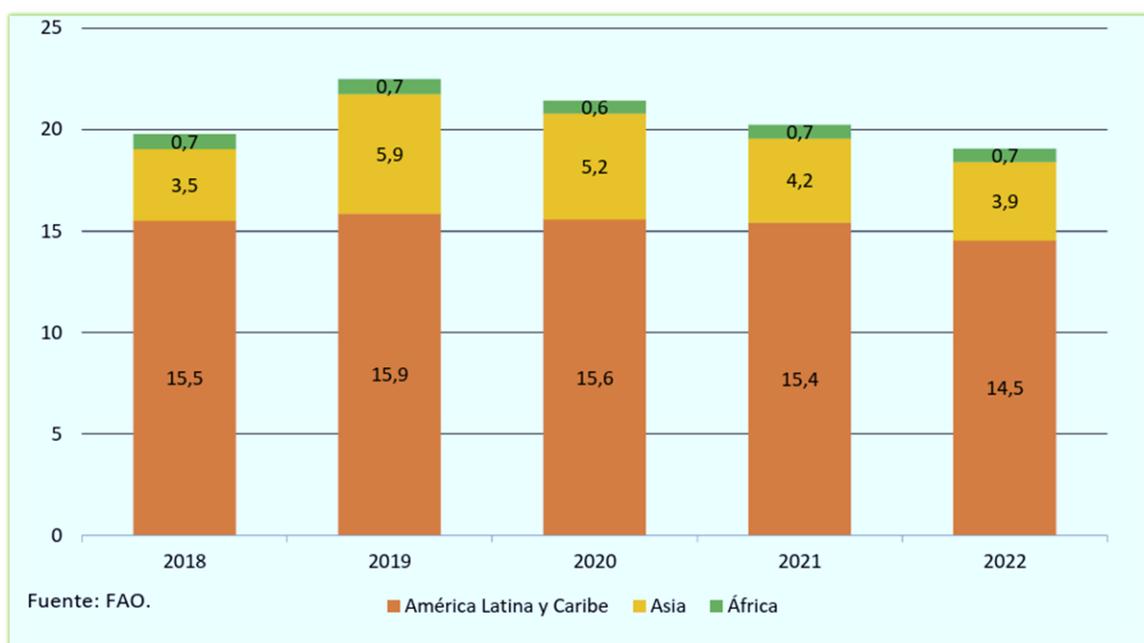


Figura 1. Exportación mundial de Banano por región, 2018 – 2022, millones de toneladas.

En el abordaje de la **NUTRIFISIOLOGÍA** desde una perspectiva holística se logran encontrar oportunidades para aportar mejoras significativas en el manejo del cultivo y de esta forma contribuir en la mitigación de factores que impactan negativamente en la actividad. Con base en esto los micronutrientes requieren una atención y cuidado especial porque hay un margen estrecho entre el exceso y la deficiencia en las necesidades de microelementos de las plantas. Los micronutrientes son necesarios sólo en pequeñas cantidades. Si se aplica demasiado de un microelemento dado (por ejemplo, boro), puede tener un efecto dañino en el cultivo y / o en el cultivo subsiguiente.³

Por otro lado, el uso de pesticidas para el control de plagas y enfermedades es extensivo en plantaciones bananeras. Los cultivos de banano son particularmente susceptibles a infestaciones ya que la mayoría se cultivan en los trópicos, favoreciendo las condiciones para las plagas. Los pesticidas son utilizados para controlar diferentes

plagas del banano, incluida la Sigatoka negra, que en plantaciones bananeras puede reducir los rendimientos de un 35 a 50%.⁴

Sin embargo, las restricciones de uso a un importante grupo de pesticidas por parte de los países compradores de fruta, los impactos cada vez más tangibles de los efectos del cambio climático en la productividad y un importante descenso en la oferta en los años post pandemia (Figura 1), fueron las alertas que nos movieron a buscar un cambio de paradigma en la forma de producir Banano.

La demanda de los mercados por fruta que provenga de sistemas de producción que protegen los recursos naturales, hizo necesario que se planteara la posibilidad de incorporar en el manejo técnico del cultivo programas que permitan reducir la carga química y el consumo de agua o un uso más eficiente de este recurso.

La gestión del agua en las plantaciones de banano es un tema importante, ya que la tasa de bombeo altera las aguas subterráneas y superficiales con la construcción de pozos, bombas de irrigación, sistemas de canales y drenaje superficial. Esto afecta el equilibrio hídrico y el suministro en las comunidades cercanas. Por esta razón, es necesario implementar prácticas de manejo adecuadas para minimizar el impacto social y ambiental del uso del agua.⁵

Usando una perspectiva de manejo sistémico y buscando mejorar los rendimientos, la estructura de costos y crear un camino hacia la sostenibilidad en uno de los grupos con mayor área de producción en el país y con fincas en tres zonas agroecológicas con características propias en cuanto a las variables de clima y suelo, se definió:

- Evaluar los efectos de un programa de **NUTRIFISIOLOGÍA** sobre la productividad de Banano.
- Diagnosticar los niveles de nutrientes en el suelo y los niveles de nutrientes foliares que permitieran determinar los componentes del tratamiento de **NUTRIFISIOLOGÍA**.
- Determinar si al mantener el mismo volumen de agua para ambos tratamientos se podía conseguir un uso más eficiente de este recurso.

DISCUSIÓN

El rendimiento en una plantación de Banano es una función directa de las condiciones físicas, químicas y biológicas bajo las que las raíces de la planta se desarrollan y las interrelaciones que ocurren entre el clima y las prácticas culturales.⁶

Para el estudio se mantuvo la premisa de que las condiciones climáticas, de suelo y manejo de prácticas culturales sería el mismo, la única variación fue la de los tratamientos que se quería evaluar.

En las figuras 2 y 3, se puede observar los niveles de nutrientes tanto en el suelo como foliar. Con base en esta información se determinó los elementos que llevaría el tratamiento de **NUTRIFISIOLOGÍA**, las cantidades por nutrientes y el número de aplicaciones en el año. Además, estos resultados evidenciaron la existencia de limitantes en la absorción y translocación de nutrientes entre la zona radical y la parte aérea ya que, pese a que a nivel de suelo la mayoría de los nutrientes se encontraban en suficiencia o exceso, los niveles foliares se ubicaron en condición de deficiencia mayoritariamente. Esta situación encontrada en la etapa inicial del estudio justificó sustancialmente la necesidad de buscar soluciones y de esta forma y bajo el enfoque de **NUTRIFISIOLOGÍA** se decidió evaluar un plan alternativo a las prácticas de nutrición foliar que se venían desarrollando y eso permitió hacer comparaciones en aras de una mejora continua.

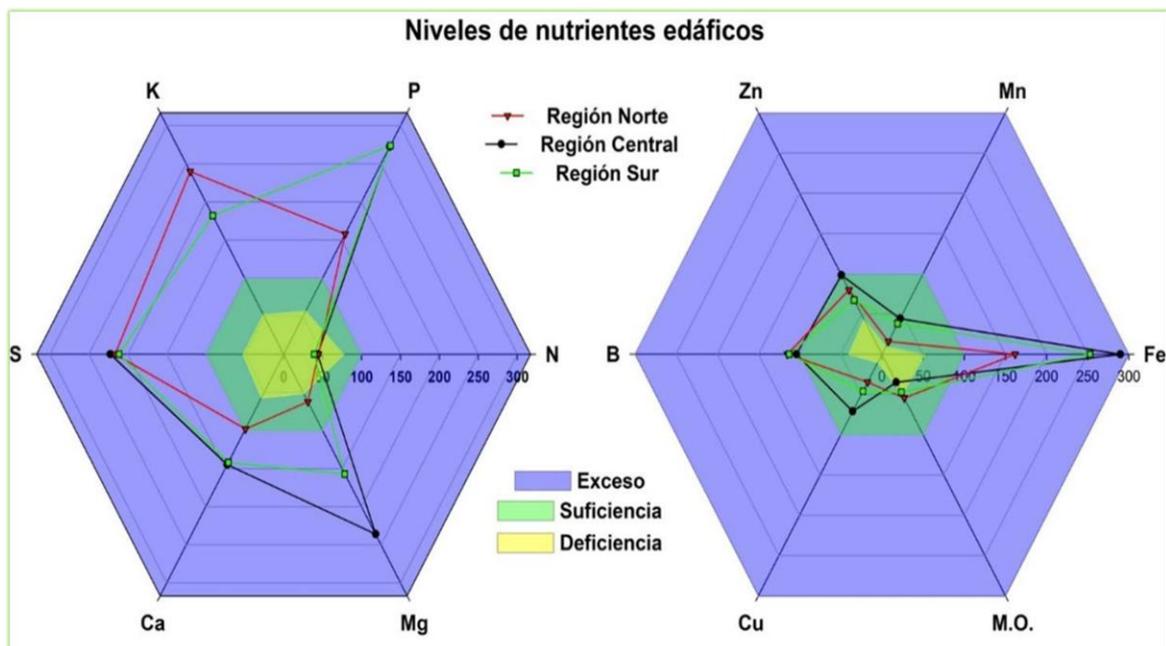


Figura 2. Niveles de nutrientes edáficos.

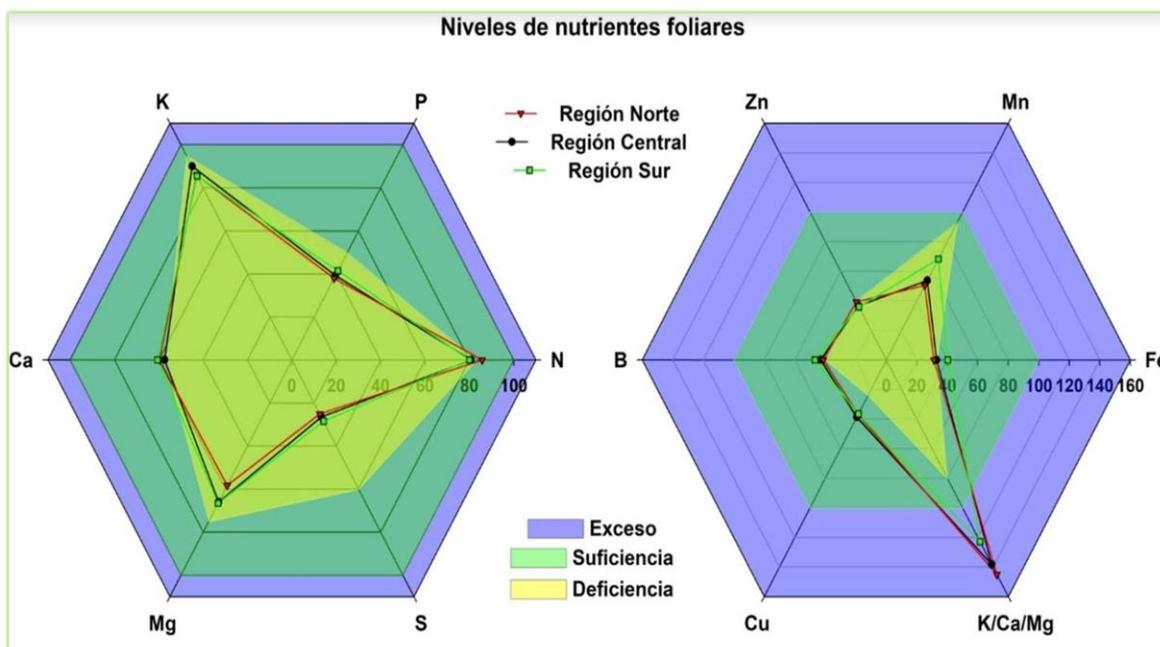


Figura 3. Niveles de nutrientes foliares.

Los resultados del programa de NUTRIFISIOLOGÍA son detallados en el cuadro que sigue:

Cuadro 1. Efectos de un programa de fisio nutrición sobre la productividad de Banano.

Tratamientos	Hectáreas	Población	Edad a Cosecha (Semanas)	Manos (Número)	Peso Racimo (Libras)	Peso Raquis (Libras)	Peso Fruta (Libras)	Peso por Mano (Libras)	Peso Merma (Libras)	Conversión (43 Libras)	Retorno Procesado	Cajas*Ha* Año (43 Libras)
Manejo Productor	77	1389	11,65 a	7,81 a	63,30 a	6,35 a	56,95 a	7,20 a	3,30 a	1,25 a	1,32 a	2294 a
Propuesta NUTRIFISIOLOGÍA	43	1399	11,25 b	8,30 b	69,02 b	7,02 b	62,00 b	7,44 b	3,67 a	1,36 b	1,35 b	2561 b

Este estudio se realizó durante el año 2020, se dio inició en el mes de enero y concluyó en el mes de diciembre. El número de muestras para el tratamiento **Manejo Productor** fue de 3402 y para el tratamiento **Propuesta NUTRIFISIOLOGÍA** fue de 3261. Para la variable Peso Racimo (Libras) se utilizó el peso de todos los racimos producidos durante el año 2020 para cada tratamiento.

Para todas las variables que componen la función de productividad excepto Peso Merma (Libras) hubo diferencias significativas a favor del Tratamiento **Propuesta NUTRIFISIOLOGÍA**. Este tratamiento fue superior en: Conversión en 8.8%; Retorno (Número de racimos por unidad productiva) en un 2.2% que representa casi una semana más de producción y 267 Cajas*HA*año más, es decir, un 11.6% más de productividad.

Esta productividad se consiguió con el mismo volumen de agua de riego durante las 24 semanas que duró la estación seca, que fue de 174 mm aplicados; considerando que para producir una caja de Banano se requiere en promedio entre 1.0 a 1.5 m³ de agua lo que implica que al obtener mejores niveles de productividad con un consumo igual de agua, el aprovechamiento y eficiencia en el uso de este recurso fue mayor. En el caso del Tratamiento del Productor se consumió 0.76 y en el tratamiento **Propuesta NUTRIFISIOLOGÍA** 0.68 m³ que representa un ahorro de 0.9 m³ por caja.

Los 174 mm aplicados de riego se determinaron con base en la tasa de infiltración de agua, las variables de: temperatura, humedad relativa, radiación, evapotranspiración, precipitación, calor acumulado, la capacidad de retención de humedad, la evapotranspiración y la medición de la humedad volumétrica presente en el suelo.

CONCLUSIONES

El programa de **NUTRIFISIOLOGÍA** tuvo un desempeño superior al manejo del productor, evidenciado en un incremento significativo en la productividad y variables de rendimiento. Al mismo volumen de agua con los resultados obtenidos podemos inferir que el tratamiento de **NUTRIFISIOLOGÍA** permite un uso más eficiente del agua de riego.

REFERENCIAS

1. ¹ FAO. 2018. TRANSFORMAR LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA PARA ALCANZAR LOS ODS. 20 acciones interconectadas para guiar a los encargados de adoptar decisiones. Roma. FAO. 71 p.
2. ² FAO. 2023. Banano. Análisis del Mercado 2022. Roma. 19 p.
3. ³ FAO. 2002. Los fertilizantes y su uso. Roma. 74 p.
4. ⁴ FAO.2017. FORO MUNDIAL BANANERO. COLECCIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS. MANEJO DE PESTICIDAS EN LA INDUSTRIA BANANERA. Roma. 5 p.
5. ⁵ FAO.2017. FORO MUNDIAL BANANERO. HUELLA DE AGUA DE LA INDUSTRIA BANANERA. Roma. 5 p.
6. ⁶ Turner, D. W, y Rosales, F.E. 2003. Sistema Radical del Banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. Memorias de un simposio internacional, San José, Costa Rica. 251 p.

Manejo de nutrición, agua y sostenibilidad de bananos y plátanos: la experiencia mexicana

José Orozco Romero¹; C. Antonio García Cárdenas²

¹Investigador y consultor externo. ²Productor y madurador de Banano. Nutri-platano. Tecomán, Colima, México.

**Autor de*

Correspondencia:

José Orozco Romero
jorel@prodigy.net.mx

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Manejo de Suelos y
Nutrición

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Orozco RJ y García CCA.
2024. Manejo de nutrición,
agua y sostenibilidad de
bananos y plátanos: la
experiencia mexicana.
*Acorbat Revista de
Tecnología y Ciencia* 1(1):
92
[https://doi.org/10.62498/AR
TC.2492](https://doi.org/10.62498/AR
TC.2492)

RESUMEN

A nivel mundial los bananos son muy importantes en la alimentación, debido a los diferentes problemas de plagas y enfermedades, nutrición y mercado los productores con la finalidad de incrementar los rendimientos por unidad de superficie, siguen un patrón de producción basado en el uso excesivo de insumos químicos y en muchos de los casos no resultan positivo haciendo un cultivo no sostenible. Existen prácticas de cultivo para hacer el cultivo sostenible generadas por el campo experimental de Tecomán, Colima, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas hoy INIFAP México, instituto que a partir de 1974 inicia investigaciones sobre prácticas de cultivo de banano en el subtrópico. Existiendo practicas sobre, Nutrición vegetal, utilizando abonos verdes, lixiviados, compost de lombriz; sobre el uso y manejo adecuado del agua de riego, manejo de la siégatela negra y prácticas de manejo del racimo.

Palabras clave: Banano, Sostenibilidad, Fertilización, sigatoka negra.

ABSTRACT

At a global level, bananas are very important in food, due to the different problems of pests and diseases, nutrition and market, producers in order to increase yields per unit of area, follow a production pattern based on the excessive use of chemical inputs and in many cases they do not result positive, making a crop unsustainable. There are cultivation practices to make cultivation sustainable generated by the experimental field of Tecomán, Colima, belonging to the National Institute of Agricultural Research today INIFAP México, an institute that since 1974 began research on banana cultivation practices in the subtropics. There are practices on plant nutrition, using green fertilizers, leachates, worm compost; on the proper use and management of irrigation water, management of black Sigatoka and cluster management practices.

Keywords: Banana, Sustainability, Fertilization. black Sigatoka.



A nivel mundial el Arroz, Trigo, maíz y en cuarto lugar se ubican el banano y plátano. La producción de banano es de alrededor de 126 millones de toneladas, India y China producen el 48% y en América alrededor del 30% (FAOSTAT 2017). México cuenta con alrededor de 80 mil hectáreas y una producción de 2.4 millones de toneladas, con un valor de 9 mil 409 millones de pesos. (SIAP-CSPPN consultada en 2023).

En México las regiones productoras de banano se ubican en las costas, en climas tropicales y subtropicales con un alto potencial de producción para este cultivo (más de 80 ton/ha/año). Sin embargo, el rendimiento promedio en el país es de 30 toneladas por hectárea por año. La fuga de rendimiento se debe principalmente a las inadecuadas e inoportunas prácticas de cultivo. Al igual que en los países plataneros, en México se sigue un sistema de producción tradicional, donde se utiliza una gran cantidad de agroquímicos con la esperanza de producir más, sin embargo, esto no ha sucedido ya que en los últimos 20 años el uso de agroquímicos se ha incrementado hasta en un 300% y la producción media es la misma; es preocupante la contaminación que esto ocasiona.

Las prácticas más comunes del cultivo que se llevan a cabo son; **Control de la Sigatoka**, para lo cual hacen de 52 y en casos extremos hasta 70 aplicaciones quienes lo aplican por arriba y abajo, esto ha ocasionado la presencia de arañas haciendo alrededor de 10 aplicaciones de acaricidas, control de nematicidas alrededor de 3 aplicaciones; **Fertilización** excesivo uso de fertilizante químico, por lo general, aplican alrededor de 800 kg/ha/año de Nitrógeno, 500 kg/ha/año de fosforo, 1200 kg/ha/año de potasio, ácidos húmicos 10 litros por ha/año, reguladores de crecimiento no todos, microelementos 10 litros ha/año. **Riegos**, la mayoría es de riego presurizado de aspersión y riego rodado, con periodicidad y duración del riego a sentimiento, irregular y excesivo, de tal manera que se están gastando alrededor de 1,400 litros de agua por kilogramo de fruta producida, por la ineficiencia del manejo del agua. Ya que, aun cuando el nivel freático está a menos de 40 cm, las huertas son regadas.



Y otras prácticas más, que se realizan por recomendaciones empíricas influenciando para que el cultivo no sea sustentable, como el caso del desmane intensivo y prematuro, Alfonso Vargas 2014, en un estudio del efecto del desmane, cita a varios autores que coinciden que en el desmane intensivo hay una disminución de peso del racimo, conforme aumenta la intensidad del desmane y no han provocado aumento en las dimensiones de las manos restantes cuando la cosecha se hace por edad y grosor del dedo central.

El objetivo de este trabajo es compartir los resultados obtenidos en un huerto comercial manejado con sostenibilidad, aplicando prácticas de cultivo generadas por el campo experimental de Tecomán, Colima, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas hoy INIFAP México, instituto que a partir de 1974 inicia investigaciones sobre prácticas de cultivo de banano en el subtrópico.

El trabajo se está realizando en dos huertos comerciales, ambos con los cultivares Enano gigante y Valery. Uno fue en un huerto establecido plantado hace 20 años sin tener un arreglo topológico definido y con una densidad de 1,500 materos por ha. Y un sistema de riego de aspersión y la otra plantación nueva con un sistema de doble surco, una densidad de plantación de 2,000 materos por ha. Sistema de riego microaspersión.



Huerto establecido



Huerto nuevo

Deshije. en ambos huertos se hizo el deshije de Madre, hijo y nieto, y en el huerto establecido se orientaron los hijos y después de 3 años se tiene una plantación con hileras paralelas (como doble surco) y 2,000 **plantas** por ha. Retorno 1.6.



Nutrición. El contenido de materia orgánica en los suelos es muy pobre menos del 1,5 y en ambos huertos una fracción de la superficie tiene grava y piedra grande. En esta fracción se inició con la siembra e incorporación de abono verde, en la calle más anchas se sembró *Crotalaria júncea L.* a los tres meses se incorporó con tractor y en los años siguientes se cortó y se amontonó haciendo mini composteos dentro del huerto, además de mejorar la fertilidad, ayudo en control de malezas.



Composta de Lombriz. Cada año se aplica composta de Lombriz en dosis de 2.5 litros de composta solida por matero, 5 toneladas por ha.

Lixiviado de Lombriz. Cada 28 días se aplican 200 litros de lixiviado de lombriz por hectárea, esta aplicación se efectúa a través del sistema de riego. Además de los microorganismos y nutrientes, este producto contiene un 6% de ácidos húmicos y 6% de ácidos fúlvico.

Lixiviados de raquis o mala chicón del racimo de banano. Este producto se elabora dentro de la misma huerta con los residuos de la cosecha y se aplica cada 28 días en dosis de 200 litros por hectárea. Por el contenido de potasio que tiene, al año se aportan

al suelo alrededor de 130 kilogramos de potasio, más carbono, microorganismos, materia orgánica.



Micorrizas *Glumus intraradicis* y *Azospirillum brasilensis*: Una vez al año se efectúa una aplicación de estos dos microorganismos, en dosis de litros por hectárea. Cada litro contiene 175,000 millones de ufc de azospirillum y 40,000 esporas de hongo micorrízico.

Fertilización química al suelo. Esta fertilización, así como, las aplicaciones de micorrizas y azospirillum, lixiviado de raquis y de lombriz se hace por medio del sistema de riego. La dosis de fertilización química se determinó en base al análisis de suelo y las aportaciones de los fertilizantes orgánicos aplicados. La dosis de N, P, y K es variable cada año, para el caso del nitrógeno la dosis promedio aplicada fue de 210 kg/ha. Para el caso de fosforo fue de 86 Kg/ha de P_2O_5 y de potasio fue de 270 Kg/ha de KO_2 . Las fuentes utilizadas han sido Urea, Sulfato de Potasio y Ácido Fosfórico.

Fertilización foliar. Esta se realiza cuando se empiezan a observar deficiencias de algunos elementos secundarios como el magnesio y microelementos como Boro, Calcio y para reforzar la fertilización al suelo. Cada 2 meses se aplica 1 kg/ha de 20-30-10 más microelementos, y cuando se observan deficiencias de Boro y Calcio se aplicó a razón de 0.3 kg. Por ha. Además, se hacen aplicaciones de lixiviado de raquis a razón de 2 litros por ha.

Minicomposteos. Con la finalidad de incrementar la materia orgánica de los suelos con los residuos de cosecha (pseudotallos y Hojas) se colocan en montones llamados minicomposteos, con la finalidad de descomponer y mineralizar la materia orgánica.



Riegos. la cantidad de agua, periodicidad y duración del riego se determinó en base a las características del suelo, evapotranspiración, y el tipo de riego que se tiene. Durante el año existen muchos factores que implican cambiar el riego, por ejemplo, en tiempo de mucho viento o frío la periodicidad Riego es diario con 1.5 horas y en tiempo normal es de 2 a 3 horas cada dos días. En tiempo de viento se acelera la transpiración y hay un gasto mayor de agua, en tiempo de frío se requiere una mayor circulación del agua y con ello se evita el acanelamiento del fruto. Una gran ventaja del riego de microaspersión es la disminución de la sigatoka y la utilización de los productos que se aplican por el sistema de riego.

Manejo de la Sigatoka negra. Las practicas anteriores han ayudado a que en el huerto disminuya la presencia del inoculo, así, como la transmisión de la sigatoka negra dentro del huerto. Al hacer los minicomposteso se reduce el inoculo de las hojas en el suelo hasta en un 70%, además, en los minicomposteos se producen bacterias y hongos que atacan a la sigatoka. Con el riego de microaspersión se evita la transmisión del inoculo de una planta a otra ya que no la moja, tomando en consideración estos aspectos, el manejo de la sigatoka que se sigue es primero el saneo, eliminar solo la parte necrosada de la hoja y cuando hay mucha humedad ambiental se despunta las hojas jóvenes evitando la acumulación de agua libre en la hoja y con ello la probable infección, esta práctica se hace cada semana. Posteriormente, se realizan alrededor de 24 a 30 aplicaciones de Mancozeb en dosis de 2 a 2.5 kilogramos por hectárea, de estas 15 son acompañadas por resina y en todas se aplica un surfactante coadyuvante. Todas las aplicaciones foliares se hacen con Dron, teniendo una buena cobertura y evita que los productos caigan en lugar diferente.



Desmane. Otra actividad que influye sobre sostenibilidad del cultivo es el desmane, se realiza hasta que sale la última mano femenina, eliminando dos a tres manos, dejando de 11 a 9 manos para producción.



Producción. La cosecha se realiza cada semana, los racimos están señalados por color y en la época de calor el corte se realiza a las 10 semanas y en frío de 11 a 12 semanas.

REFERENCIAS

1. Estudio Mercado Plátano Unión Europea (Lote II) Estudio Mercado Plátano Unión Europea (Lote II) - Expediente MC 2/2002 Expediente MC 2/2002
2. FAOSTAT 2017 citado por la Cadena de Banano dirección de cadenas agrícolas y forestales marzo 2021 Minagricultura Colombia.
3. León Ajila, J. P., Espinosa Aguilar, M. A., Carvajal Romero, H. R., & Quezada Campoverde, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Ciencia Latina Revista Científica*

-
4. Vargas Alfonso 2014 Efecto del desmane intensivo sobre el desarrollo del racimo de banano. *Agronomía Mesoamericana*, vol 25, núm. 1 pp, 85-98.

Estructura de producción y comercialización del banano y plátano en México

Adrian Prats-Leal¹, Mario Orozco-Santos², Román Gómez-Vaillard¹, Ivan Mechant-Cruz¹

¹Comité Sistema Producto Plátano Nacional, A.C.; ²Campo Experimental Tecomán. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tecomán, Colima, México.

***Autor de
Correspondencia:**

Adrian Prats-Leal
adrianprasleal@hotmail.com

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Postcosecha

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Prats-Leal A, Orozco-Santos M, Gómez-Vaillard R y Mechant-Cruz I. 2024. Estructura de producción y comercialización Del banano y plátano en México. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 93
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2493>

En México, el término “plátano” se utiliza para referirse a todos los frutos comestibles de musáceas (de postre y de cocción). Los mexicanos le adicionan a la palabra plátano el nombre regional de la variedad, lo que permite diferenciarlas cuando se refieren a un tipo específico. Por ejemplo, “plátano Chiapas”, “plátano Tabasco” o “plátano Colima” cuando se trata de cultivares de postre del subgrupo Cavendish (Enano gigante o Gran enano, clon francés y Valery); “plátano Macho” se usa para el cultivar de cocción del subgrupo Plantain (Macho o Cuerno) y “plátano Manzano” para dicho cultivar de postre (subgrupo Silk). Otros términos usados son: “plátano Dominicó”, “plátano Pera”, entre otros. Por otra parte, en la mayoría de los países de Centro y Sudamérica se utiliza el término “banano” para referirse a todos los cultivares de postre y la palabra “plátano” cuando se trata de variedades de cocción. En algunos estados del Sureste (Chiapas y Tabasco) es común el término “banano” para las variedades de postre. En este documento se utilizará el término banano para los cultivares de postre y plátano para los de cocción.

EL Comité Sistema Producto Plátano Nacional, A.C.

En México, el Sector Rural está regido por la Ley de Desarrollo Rural Sustentable; misma que entró en vigor en el mes de Diciembre del año 2001. En la citada Ley, se hace referencia en sus Artículos 149, 150, 151 y 152; sobre la integración y operatividad de los Sistemas Producto Agrícolas Nacionales y Estatales. Derivado de lo Anterior, el 29 de Enero del 2009, se constituye formalmente el COMITÉ SISTEMA PRODUCTO PLÁTANO NACIONAL, A.C. el cual tiene dentro de sus principales objetivos: Fortalecer la cadena agroalimentaria del plátano a nivel nacional e internacional; para consolidar este organismo rector, los agentes económicos participan desarrollando los esquemas de organización, planeación, legislación, concertación, difusión y promoción en un marco de necesidades que deberán ser cubiertas en el orden estratégico que se establezca en su Plan Rector. El Comité Sistema Producto Plátano Nacional, A.C. lo integran las siguientes organizaciones de productores: 1) Sistema Producto Plátano Chiapas, A.C., 2) Comité Estatal del Sistema Producto del Plátano en Tabasco, A.C., 3) Sistema Producto Plátano de Veracruz,



A.C., 4) Comité Oaxaqueño del Sistema Producto Plátano, A.C., 5) Sistema Producto Plátano Puebla, A.C., 6) Comité Sistema Producto Plátano Guerrero, A.C., 7) Comité Sistema Producto Plátano de Michoacán, A.C., 8) Comité Sistema Producto Plátano de Jalisco, A.C., 9) Comité Estatal del Sistema Producto Plátano de Colima, A.C. y 10) Comité Sistema Producto Plátano de Nayarit, A.C.

Importancia socioeconómica de bananos y plátanos

Para el año 2022, en México se cultivaron 85,642 hectáreas de musáceas que produjeron cerca de 2.6 millones de toneladas de fruta y un valor de la producción superior a los 10.5 mil millones de pesos mexicanos (602.7 millones de dólares americanos) (SIAP, 2024) (Cuadro 1). A nivel nacional existen alrededor de 5,000 productores. En todos los eslabones de la cadena productiva, desde la producción de planta, manejo agronómico, cosecha y comercialización, las musáceas son una fuente importante de mano de obra, generando 300 mil jornales directos y 500 mil indirectos. Las áreas productoras de bananos y plátanos se localizan en las regiones tropicales de la costa del Golfo de México y Océano Pacífico. Los principales estados productores son Chiapas, Veracruz, Tabasco, Nayarit, Colima, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, y Puebla, los cuales se agrupan en tres regiones productoras: Región del Golfo de México que ocupa el 37.2% de la superficie nacional cultivada, Región del Pacífico Centro con el 26.2% y Región del Pacífico Sur con un 27.4%. Los grupos taxonómicos más importantes que se cultivan en México son: AAA (Enano gigante, clon Francés y Valery: subgrupo Cavendish), AAB (Macho y Dominico; subgrupo Plantain), AAB (Manzano), ABB (Pera o Cuadrado), AABB (Thai = Pisang awak) y AA (Dátil). A nivel nacional los cultivares más importantes pertenecen al subgrupo Cavendish: con más del 65% de la superficie nacional.

Cuadro 1. Superficie de bananos y plátanos, producción y valor de la producción en México para el año 2022.

Región/Estado	Superficie (ha)	Producción (Ton)	Valor de la producción (miles de \$)
Golfo de México			
Veracruz	16,485	335,238	1'278,680
Tabasco	11,687	622,175	2'244,033
Oaxaca	3,693	82,594	379,456
Pacífico Sur			
Chiapas	23,492	664,156	1'597,299
Pacífico Centro			

Colima	10,155	324,133	1'992,140
Michoacán	5,651	179,220	950,625
Jalisco	4,084	202,743	1'036,853
Nayarit	2,540	37,127	182,790
Otros	7,855	145,639	885,369
Total	85,642	2'593,025	10'547,245

Fuente: Servicio de información Agrícola y Pesquera. SADER. México (2024).

Características de las regiones productoras

Pacífico Centro. Esta región se ubica en el Occidente de México, en la costa del Océano Pacífico y comprende los estados de Colima, Michoacán, Jalisco y Nayarit. Posee un clima cálido seco con una precipitación de 800 a 1,000 mm anuales, distribuidos en los meses de Junio a Octubre y el resto del año es seco (7 a 8 meses). La temperatura media anual es de 26-28 °C y con una altitud de 10 a 60 msnm en las áreas costeras de todos los estados productores, con excepción del estado de Nayarit, en donde se cultivan plátanos desde 10 (zona costa) hasta 500 msnm (zona de Jalcocotán) y en el valle de Apatzingán, Michoacán hasta 300 metros. Se explotan más de 22 mil hectáreas, principalmente de los cultivares Cavendish. En los últimos 10 años, en los estados de Colima y Michoacán se ha incrementado notablemente la superficie de banano orgánico, estimándose que existen más de 3,000 hectáreas, cuya fruta es destinada a los mercados de exportación. El estado de Nayarit es el principal productor de banano Manzano y Thai con 634 y 362 hectáreas, respectivamente. Otros cultivares son: plátano Macho y plátano Pera.

Pacífico Sur. Esta región se ubica en el estado de Chiapas en el sur de la costa del Pacífico Mexicano y en los límites con Guatemala. Registra un clima cálido subhúmedo con 4 a 5 meses secos, precipitación anual de 1,500 a 2,500 mm, temperatura media de 26-27 °C y una altitud de 10 a 100 msnm. La zona bananera más importante se ubica en la costa del estado de Chiapas en el área conocida como el Soconusco. Cuenta con una superficie superior a las 23 mil hectáreas de cultivares tipo Cavendish (Gran Enano) y en menor proporción plátano Macho y banano Manzano. La producción es destinada al mercado nacional y de exportación.

Golfo de México. Región ubicada en la costa del Golfo de México, en la cual se cultivan casi 32 mil hectáreas, principalmente cultivares del subgrupo Cavendish (Gran Enano). Otros cultivares explotados son el Dominico y Macho. Comprende los estados

de Tabasco, Veracruz, Puebla y este de Oaxaca con características de clima cálido húmedo, una precipitación pluvial anual de 1,700 a 3,900 mm, temperatura media anual de 26-27 °C y una altitud entre 10 y 200 metros sobre el nivel del mar (msnm). El estado más lluvioso es Tabasco (2,300 a 3,900 mm anuales) con precipitaciones durante casi todo el año y sólo de 0 a 2 meses secos (menos de 60 mm de lluvia mensual). La zona de producción más importante que produce fruta para el mercado nacional y en menor proporción para exportación es Teapa. En el estado de Veracruz, el área bananera más importante se localiza en San Rafael y Nautla, en donde se presenta una precipitación anual de 1,743 mm, temperatura media de 24-25 °C y altitud de 10 a 80 msnm. En los municipios de Tlapacoyan y Misantla se produce banano Dominicano. Otra zona productora del clon Dominicano es el oriente del estado de Puebla. Cerca de los límites del sur de Veracruz se encuentra la zona de Tuxtepec en el estado de Oaxaca, la cual produce principalmente plátano Macho y banano Enano Gigante.

Comercialización y mercados

Con una superficie superior a las 85 mil hectáreas, México produce 2.593 millones de toneladas que contribuye con el 1.4% de la producción mundial de bananos y plátanos. Los mexicanos son buenos consumidores de fruta, registrando un consumo anual per cápita de 15.9 kg. Para el año 2022, se comercializaron internamente 2.066 millones de toneladas. Por otra parte, México se ubica entre los 10 principales exportadores de banano, destinando en promedio un poco más de una quinta parte de la producción interna (526,951 toneladas) al mercado internacional. En el 2022, las exportaciones de plátano generaron divisas al país por 295 millones de dólares. El principal destino internacional es Estados Unidos de América, seguido por Japón, Nueva Zelanda, Países Bajos, Ucrania, China, Canadá, Alemania, Italia, Reino Unido, entre otros (SIAP 2023). En la región Pacífico Centro de México (Colima y Michoacán), zona de producción de banano orgánico del país, siendo también su principal destino el mercado de los Estados Unidos de América.

Problemática de la producción

La problemática de la bananicultura en México se puede clasificar en problemas técnicos, meteorológicos, financieros y sociales. Las plagas y enfermedades representan factores importantes que limitan el rendimiento y la calidad de la fruta y en algunas ocasiones provocan la muerte de la planta. La sigatoka negra es el problema más importante en las variedades Cavendish y en menor escala en el plátano Macho y

banano Manzano. También, la raza 1 de la marchitez por *Fusarium* afectando banano Manzano y Thai es una limitante seria. Otros problemas fitosanitarios son el moko (presente en los estados de Tabasco y Chiapas), los nematodos, trips, picudo, ácaros, defoliadores e insectos chupadores como escamas y pulgones. El manejo de la nutrición, reducción de la huella hídrica y de carbono, así como tecnologías de producción sostenible son tópicos que requieren investigación en las regiones productoras. El cambio climático en los últimos años ha afectado significativamente la producción de fruta en las regiones productoras. Se han presentado fenómenos meteorológicos contrastantes, como lo son variaciones significativas en las temperaturas, en los patrones de lluvias y presencia de eventos climáticos extremos. Por una parte, ocurren períodos prolongados de sequía y en contraste se presentan lluvias intensas y afectaciones severas por la presencia de huracanes y tormentas tropicales, ocasionando inundaciones y volcamiento de plantas. Otros problemas son: los altos costos de los insumos, esquemas de financiamiento de difícil acceso para los productores, altos costos de las primas o cuotas de aseguramiento del cultivo, migración de la mano de obra empleada en las plantaciones y precios bajos de venta de la fruta, así como alta competencia en los canales de comercialización. Finalmente, faltan esquemas de apoyo a la investigación para la realización de proyectos enfocados a resolver los problemas de producción y sobre mejoramiento genético para la introducción y evaluación de variedades resistentes a los problemas fitosanitarios que amenazan la permanencia de los bananos y plátanos.

REFERENCIAS

1. Brühl, C.A., Arias, A.M., Echeverría-Saenz, S., Bundschuh, M., Knäbel, A., Mena, F., Petschick, L.L., Ruedert, C. and Stehle, S. 2023. Pesticide use in banana plantations in Costa Rica – A review of environmental and human exposure, effects and potential risks. *Environmental International* 174. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.10787>.
2. Martínez, G; Olivares, B; Rey, J.; Rojas, J., Cardenas, J., Muentes, C., Dawson, C. 2023. The Advance of *Fusarium* Wilt Tropical Race 4 in Musaceae of Latin America and the Caribbean: Current Situation. *Pathogens*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/pathogens12020277>.
3. SIAP 2023. Panorama Agroalimentario 2023. [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera](#). Edición 2023. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México. 215 p.
4. SIAP 2024. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera](#). Gobierno de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consulta el 6 de febrero de 2024).

Mercado Internacional: Situación actual y perspectivas

José Antonio Hidalgo y Paúl Vera-Gilces

Asociación de exportadores de banano del Ecuador.

**Autor de*

Correspondencia:

José Antonio Hidalgo
ahidalgo@aebe.com.ec

Contribución:

Tecnológica

Sección:

Tecnología de Postcosecha

Recibido:

15 Diciembre, 2023

Aceptado:

15 Enero, 2024

Publicado:

16 Abril, 2024

Cita:

Hidalgo JA y Vera-Gilces

P. 2024. Mercado

Internacional: Situación

actual y perspectivas.

Acorbat Revista de

Tecnología y Ciencia 1(1):

94

<https://doi.org/10.62498/AR>

TC.2494

RESUMEN

En el competitivo escenario global, la industria bananera ecuatoriana, liderada por la Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE) y el Clúster Bananero y Platanero, se destaca por su notable crecimiento y adaptación a desafíos complejos. En 2023, el sector registró un significativo aumento en las exportaciones, evidenciando su fortaleza y capacidad de expansión. Sin embargo, enfrenta retos importantes como la inseguridad y las fluctuaciones climáticas. Sus estrategias enfocadas en la colaboración internacional, la innovación y la sostenibilidad, particularmente en mercados clave como la Unión Europea, reflejan un enfoque proactivo hacia la promoción de prácticas responsables y el fortalecimiento de su posición en el mercado mundial.

Palabras clave: Exportación, mercado, postcosecha.

AEBE y Clúster bananero

La Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador (AEBE), establecida en 1999, y el Clúster Bananero y Platanero del Ecuador son pilares esenciales en la industria bananera ecuatoriana, destacando por su liderazgo y colaboración en la promoción y defensa del sector. La AEBE, una organización sin ánimo de lucro, representa más del 70% de las exportaciones de banano de Ecuador, el líder mundial en exportaciones de este producto. Compuesta por exportadores de banano y empresas de sectores relacionados, como puertos, cartoneras y navieras, se enfoca en impulsar la competitividad y sostenibilidad de la cadena de valor del banano a nivel global.

El Clúster Bananero y Platanero, una confluencia de diversas asociaciones y comisiones, cubre cerca del 100% de las exportaciones de banano y el 80% de las de plátano de Ecuador. Su estructura incluye comisiones técnicas y subcomités dedicados a temas cruciales como gobernanza, producción sostenible, calidad, logística y comercio exterior. A nivel internacional, cuenta con una representación en la Unión Europea y participa activamente en plataformas regionales importantes, como el Task Force Regional Latinoamericano y AgriLAC en la UE.



La sinergia entre la AEBE y el Clúster Bananero y Platanero ha resultado en una mayor influencia en las políticas nacionales e internacionales, promoviendo prácticas comerciales justas y sostenibles. Su colaboración ha fortalecido la posición de Ecuador como líder global en la industria bananera, estableciendo una base sólida para enfrentar futuros desafíos y asegurar el desarrollo continuo del sector.

Objetivos del sector bananero ecuatoriano

El sector bananero ecuatoriano, orientado hacia un desarrollo sostenible y competitivo, establece objetivos estratégicos en varias áreas clave. En el ámbito de **Reformas Legales y Regulatorias**, se enfoca en actualizar la ley del banano, adecuar el código laboral y el régimen tributario para mejorar la competitividad y adaptarse a las dinámicas del mercado global. En cuanto a **Comercio y Desarrollo de Mercado**, se propone fortalecer los acuerdos comerciales en mercados estratégicos, fomentar la investigación y desarrollo, e integrar tecnologías avanzadas para la digitalización y simplificación de trámites.

En el área de **Seguridad y Protección**, el sector se compromete a desarrollar políticas robustas contra ataques a la seguridad física y patrimonial, así como a establecer rutas seguras. La **Responsabilidad Ambiental y Social** ocupa un lugar central, buscando aprovechar la avanzada situación ambiental de Ecuador, fomentar la asociatividad de pequeños productores y combatir la informalidad. Finalmente, en **Infraestructura y Logística**, se centra en impulsar proyectos de infraestructura, mejorar la conectividad con puertos, incrementar el control de condiciones de inocuidad y contaminación, integrar plataformas logísticas y mejorar la imagen del sector. Estos objetivos reflejan el compromiso del sector bananero ecuatoriano con la innovación, sostenibilidad y un crecimiento inclusivo.

Desafíos del sector bananero ecuatoriano

El sector bananero ecuatoriano, frente a desafíos tanto nacionales como internacionales, se encuentra en un proceso constante de adaptación y evolución. A nivel nacional, la inseguridad y el desafío de mantener la competitividad en un mercado global intenso son preocupaciones primordiales. Estos retos se ven agravados por las amenazas fitosanitarias, como *Ralstonia Solanacearum* (Moko) y FOC R4T, que exigen una vigilancia y control rigurosos. Además, el sector debe navegar a través de un mar de regulaciones y adaptarse a los impactos del cambio climático, que afectan directamente la producción.

Internacionalmente, el sector se enfrenta a desafíos únicos en diversos mercados clave. En la Unión Europea, las políticas comerciales y la búsqueda de un equilibrio entre las negociaciones de precios y las demandas de sostenibilidad imponen un reto significativo. La región también presenta desafíos en términos de certificación y adaptación a estándares supranacionales. En Rusia, el incremento arancelario y las alertas fitosanitarias específicas plantean obstáculos adicionales, mientras que, en Estados Unidos, el sector debe cumplir con rigurosas normativas de inocuidad alimentaria y adaptarse a los tratados de libre comercio. Por último, en el mercado asiático, especialmente en China, Corea del Sur y Japón, los elevados aranceles y los protocolos específicos, incluyendo los relacionados con el COVID-19, representan barreras significativas.

En conjunto, estos desafíos requieren una respuesta estratégica y técnica por parte del sector, que debe ser capaz de equilibrar las necesidades de producción y comercialización con la adaptación a regulaciones y estándares internacionales, garantizando así su sostenibilidad y crecimiento en un entorno global competitivo.

Estrategia del sector bananero ecuatoriano

Ante los desafíos enfrentados tanto a nivel nacional como internacional, el sector bananero ecuatoriano ha adoptado estrategias proactivas y enfocadas. A nivel nacional e internacional, el Clúster Bananero se ha dedicado a formar alianzas estratégicas con entidades gubernamentales y organizaciones internacionales. Este enfoque colaborativo fortalece su capacidad de respuesta y su posición en el mercado global. Paralelamente, se invierte en innovación y mejora continua, abarcando desde la tecnología y la investigación hasta la eficiencia de procesos, con el fin de elevar la calidad del producto y su sostenibilidad.

En cuanto a prácticas sostenibles, se promueven métodos de agricultura responsable que cumplan con los estándares internacionales, una necesidad particularmente crítica en mercados sensibles como la Unión Europea. Además, el sector participa activamente en foros y negociaciones internacionales para defender sus intereses comerciales y promover un comercio justo.

En el contexto específico de la Unión Europea, el Clúster Bananero y Platanero del Ecuador utiliza foros especializados para abordar los desafíos de la industria y promover acciones que mejoren las condiciones del sector. Participa en el Foro Mundial Bananero y dialoga con los creadores de normas y regulaciones de la UE,

enfaticando la importancia de considerar las realidades locales en políticas como el Pacto Verde y la estrategia de la granja a la mesa.

Una campaña clave ha sido "Diferentes latitudes, diferentes necesidades", que busca concientizar sobre la importancia de la aplicación de ciertos productos y moléculas para la producción bananera en Latinoamérica, teniendo en cuenta las plagas, climas y otras particularidades regionales. Además, el sector ha destacado los efectos adversos de las políticas restrictivas en el uso de productos de protección de cultivos y la consecuente merma en la producción.

Para las negociaciones de precios, el sector ha enfatizado en la importancia de una responsabilidad compartida, instando a supermercados y compradores internacionales a reconocer y compensar adecuadamente los esfuerzos de sostenibilidad del sector, que incluyen el aseguramiento de salarios dignos. Se ha defendido el uso de la metodología de cálculo de precio de FairTrade, caracterizada por su transparencia y adaptabilidad a las necesidades específicas de cada país productor.

Finalmente, en el ámbito de la certificación, el sector busca superar el modelo actual de certificación por terceros, proponiendo un modelo directo entre supermercados y proveedores. Esta estrategia incluye la homologación de estándares y el establecimiento de auditorías unificadas para reducir la carga administrativa para los productores.

Panorama actual del sector

Crecimiento en las Exportaciones En 2023, el sector bananero ecuatoriano ha demostrado un crecimiento notable, con exportaciones acumuladas de 359,12 millones de cajas de banano, marcando un incremento del 5,84% en comparación con el año anterior. La Unión Europea y Rusia se consolidaron como los mercados principales, con participaciones del 28,42% y 21,12%, respectivamente. Sin embargo, mientras la UE experimentó un crecimiento del 16,06%, Rusia registró una ligera caída del -1,43%. Otros mercados como Europa Este, Europa EFTA y Medio Oriente mostraron reducciones en sus compras. En términos de producción, el sector ha experimentado un aumento en el promedio semanal de enfunde, pasando de 35,46 en 2022 a 40,61 en 2023.

Los puertos de Guayaquil, Puerto Bolívar y Posorja desempeñaron un papel crucial en estas exportaciones, manejando el 65,11%, 22,11% y 12,78% del total,

respectivamente. Posorja destacó con el mayor crecimiento en exportaciones, con un 14,71%, seguido por Guayaquil y Puerto Bolívar.

La inseguridad en Ecuador ha afectado profundamente la cadena de valor del banano, aumentando costos y riesgos operativos. A pesar de que el fenómeno del Niño no ha provocado lluvias intensas, el sector permanece vigilante. Además, los retos logísticos en el Canal de Panamá y en el Mar Rojo han mermado la eficiencia del transporte marítimo, resultando en mayores costos de flete y seguros.

CONCLUSIONES

El sector bananero ecuatoriano ha mostrado una notable capacidad para manejar tanto el crecimiento como los desafíos inherentes a su industria. La AEBE y el Clúster Bananero han desempeñado un papel crucial en este proceso, enfocándose en estrategias que abarcan desde la formación de alianzas hasta la promoción de la responsabilidad compartida. Estos esfuerzos han resultado en avances significativos, aunque el sector continúa enfrentando desafíos en seguridad y logística.

La adaptación continua y la búsqueda de soluciones innovadoras para los desafíos existentes son fundamentales para el futuro del sector. Mientras el sector se esfuerza por mantener su relevancia en el mercado global, su enfoque en la sostenibilidad y la adaptación a las regulaciones internacionales será vital para su desarrollo a largo plazo.

Evolution of banana import rules into the European Union

Philippe Adrian¹; Eric Bureau¹; Vera Marietta von Wedel¹; Philippe Lemaire²

¹TRACE CONSULTING SRL, Waterloo Belgium; ²TOTALENERGIES, Paris, France

***Autor de
Correspondencia:**

Philippe Adrian
philippe.adrian@traceconsulting.be

Contribución:
Tecnológica

Sección:
Tecnología de postcosecha

Recibido:
15 Diciembre, 2023

Aceptado:
15 Enero, 2024

Publicado:
16 Abril, 2024

Cita:

Adrian P, Bureau E, von Wedel VM and Lemaire P. 2024. Evolution of banana import rules into the European Union. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 1(1): 95
<https://doi.org/10.62498/AR.TC.2495>

The regulation of pesticide residues in the EU is primarily governed by Regulation (EC) No 396/2005, which establishes maximum residue levels (MRLs) for pesticides in or on food and feed of plant and animal origin. This regulation is part of the broader framework for the authorization and control of plant protection products (pesticides) in the EU.

The general principles and trends that may influence the development of legislation on pesticide residues in the EU:

1. Risk Assessment and Authorization Process: The EU has a rigorous process for the authorization of pesticides in the frame of pesticides regulations. This involves a thorough risk assessment to ensure that the use of pesticides does not pose unacceptable risks to human health, animal health, or the environment. In addition, pesticides are exempted from the REACH regulations regarding their pesticides uses. The authorization process includes the establishment of MRLs. Adjuvants are regulated under REACH but also need a national authorization.

2. Review and Revision of MRLs: MRLs are regularly reviewed and revised based on new scientific evidence and advancements in risk assessment methodologies. The European Food Safety Authority (EFSA) plays a key role in providing scientific opinions to support these processes.

3. Data Requirements: Manufacturers of pesticides are required to provide comprehensive data on the safety and efficacy of their products. The data submitted undergoes scientific evaluation to assess the potential risks associated with the use of the pesticide.

4. Consumer Protection: The EU places a strong emphasis on protecting consumer health by setting MRLs that ensure that residues of pesticides in food and feed are within safe limits. This is in line with the precautionary principle.

5. Integrated Pest Management (IPM): The EU promotes the use of integrated pest management strategies to minimize reliance on chemical pesticides and encourage sustainable agricultural practices.

6. Legislative Amendments: Legislation related to pesticides, including MRLs, may be subject to amendments based on new scientific findings, technological



advancements, or changes in policy priorities. Stakeholder consultations and public input are often part of the legislative process.

The above principles and their legislative and technical evolution will be adapted to banana crops grown outside EU. In particular:

It is to note European citizens are major banana consumers, making the EU the world's biggest importer of bananas to supply such a large demand. In 2021, approximately 11% of the total supply came from domestic production while the rest was imported from African, Caribbean and Pacific (ACP) countries (around 15%) and Latin America (LatAm) countries (around 74%).

Import of bananas produced outside EU¹ was shown a demand increase mainly a rise in imported bananas (from 2012 to 2021). This is mainly due an increase of ACP and LatAm bananas in terms of volume (although lower imports from Panama and Guatemala was noted). To be noted among LatAm, Costa Rica is the country with the highest growth rate, with an increase of its exports to the EU by 56% in 10 years. The increase of market share for ACP exporters is mainly due to Dominican Republic and Ivory Cost (doubling or tripling in volume).

Among intrants, pesticides are important for the bananas cultivated in monoculture plantation, therefore particularly susceptible to pests and diseases. The use of pesticides is heavily regulated and therefore it is important to understand the future trend in terms of consumer safety but also for the environment and working population. The following will be addressed.

- Overview of pesticide residue and Maximum Residue Levels (MRLs),
- their establishment processes,
- In addition, the examination of dietary residue estimates and determinations conducted both nationally and internationally, in relation to the Acceptable Daily Intake (ADI) and Acute Reference Dose (ARfD), to demonstrate that foods complying with Codex MRLs can be considered safe for human consumption. MRLs are applicable to the final product when it is first commercialized while for commodities participating in international trade, the MRL is applicable at the country's point of entry and before processing.
- the current status of international Codex MRLs (so called CXL) for pesticides in banana. ¹ In 2023, currently 27 fungicides, 11 insecticides and 6 herbicides are used

- for the production of tropical and sub-tropical fruits with inedible peel, 10 of which are at or above the limit of determination.
- In EU (more precisely EEA i.e. European Economic Area) the status of yearly monitoring programs will be presented and specifically for bananas.
 - the implication for trade will be discussed.
 - The issue of the alignment of European Union MRLs with CXLs, provided that the EU sets MRLs for the commodities under consideration. Currently, the MRLs set by the European Union are lower than the CXLs. In this regard, the European Union will make reservations about the progress of the proposed Codex MRLs when discussing specific substances in case specific data are missing.²
 - The impact of the EU Green Deal will be discussed where the main goal is to provide both healthy and affordable food in addition to reduce the environmental impact of the food industry through regulations on different topics like pesticide and their residues. Objectives for 2030 is to reduce chemical pesticide use by 50%. These regulations also apply to products imported to the EU, thus affecting countries outside EU. It should be noted also that based on priority settings at EU levels, these regulations may be subject to changes.
 - The number of EU pesticides used in banana production currently evaluated will be and have been severely reduced mainly due to the current shift from risk to danger and the implication of PIC listing of chemicals including pesticides (Prior Informed Consent procedure is part of the Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade. The PIC procedure aims to ensure that certain hazardous chemicals and pesticides are not exported without the prior informed consent of the importing country).
 - All of these EU restrictions not strictly science based may have some indirect effects on maintaining Integrated Pest Management (IPM) as promoted by EU regulations with significant effects on the national and international trading and therefore the world-wide food security.

Evolución de las normas de importación de bananos en la unión europea

La regulación de los residuos de plaguicidas en la UE se rige principalmente por el Reglamento (CE) n° 396/2005, que establece límites máximos de residuos (LMR) de plaguicidas en alimentos y piensos de origen vegetal y animal. Este reglamento forma parte del marco más amplio de autorización y control de los productos fitosanitarios (plaguicidas) en la UE.

Principios generales y tendencias que pueden influir en el desarrollo de la legislación sobre residuos de plaguicidas en la UE:

- 1. Evaluación de riesgos y proceso de autorización:** La UE cuenta con un riguroso proceso para la autorización de plaguicidas en el marco de la normativa sobre plaguicidas. Esto implica una evaluación de riesgos exhaustiva para garantizar que el uso de plaguicidas no plantea riesgos inaceptables para la salud humana, la salud animal o el medio ambiente. Además, los plaguicidas están exentos de la normativa REACH en lo que respecta a sus usos. Los adyuvantes están regulados por REACH, pero también necesitan una autorización nacional.
- 2. Examen y revisión de los LMR:** Los LMR se examinan y revisan periódicamente en función de las nuevas pruebas científicas y los avances en las metodologías de evaluación de riesgos. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) desempeña un papel fundamental a la hora de emitir dictámenes científicos que respalden estos procesos.
- 3. Requisitos de datos:** Los fabricantes de plaguicidas deben proporcionar datos exhaustivos sobre la seguridad y eficacia de sus productos. Los datos presentados se someten a una evaluación científica para valorar los riesgos potenciales asociados al uso del plaguicida.
- 4. Protección de los consumidores:** La UE hace especial hincapié en la protección de la salud de los consumidores estableciendo LMR que garanticen que los residuos de plaguicidas en alimentos y piensos se encuentran dentro de límites seguros. Esto se ajusta al principio de precaución.
- 5. Gestión integrada de plagas (GIP):** La UE promueve el uso de estrategias de gestión integrada de plagas para minimizar la dependencia de los pesticidas químicos y fomentar prácticas agrícolas sostenibles.
- 6. Enmiendas legislativas:** La legislación relacionada con los plaguicidas, incluidos los LMR, puede estar sujeta a enmiendas basadas en nuevos descubrimientos científicos, avances tecnológicos o cambios en las prioridades políticas. Las consultas a las partes interesadas y las aportaciones del público suelen formar parte del proceso legislativo.

Los principios anteriores y su evolución legislativa y técnica se adaptarán a los cultivos de bananos fuera de la UE.

Cabe destacar que los ciudadanos europeos son grandes consumidores de bananos, lo que convierte a la UE en el mayor importador de plátanos del mundo para abastecer una demanda tan grande. En 2021, aproximadamente el 11% del suministro total procedía de la producción nacional, mientras que el resto se importaba de países de África, el Caribe y el Pacífico (ACP) (alrededor del 15%) y de países de América Latina (LatAm) (alrededor del 74%).

La importación de bananos producidos fuera de la UE mostró un aumento de la demanda, principalmente un aumento de los bananos importados (de 2012 a 2021). Esto se debe principalmente a un aumento de los plátanos ACP y LatAm en términos de volumen (aunque se observaron menores importaciones de Panamá y Guatemala). (fuente EUROSTAT). Entre los países de América Latina, Costa Rica es el país con la tasa de crecimiento más alta, con un aumento de sus exportaciones a la UE del 56% en 10 años. El aumento de la cuota de mercado de los exportadores ACP se debe principalmente a República Dominicana y Costa de Marfil (duplicando o triplicando su volumen).

Entre los intrantes, los pesticidas son importantes para los bananos cultivados en monocultivo, por lo que son especialmente susceptibles a plagas y enfermedades. El uso de pesticidas está muy regulado, por lo que es importante conocer la tendencia futura en términos de seguridad para el consumidor. Se abordarán los siguientes temas

- Visión general de los residuos de plaguicidas y de los límites máximos de residuos (LMR),

- sus procesos de establecimiento,

- Además, el examen de las estimaciones y determinaciones de residuos dietéticos realizadas tanto a nivel nacional como internacional, en relación con la ingesta diaria admisible (IDA) y la dosis aguda de referencia (DRA), para demostrar que los alimentos que cumplen los LMR del Codex pueden considerarse inocuos para el consumo humano. Los LMR son aplicables al producto final cuando se comercializa por primera vez, mientras que para los productos que participan en el comercio internacional, el LMR es aplicable en el punto de entrada del país y antes de su elaboración.

- la situación actual de los LMR internacionales del Codex (denominados CXL) para plaguicidas en el plátano. En 2023, actualmente se utilizan 27 fungicidas, 11 insecticidas y 6 herbicidas para la producción de frutas tropicales y subtropicales de

piel no comestible, 10 de los cuales están en el límite de determinación o por encima de él.

- En la UE (más concretamente en el EEE, es decir, el Espacio Económico Europeo) se presentará la situación de los programas anuales de seguimiento y, en concreto, de los bananos.

- Se debatirán las implicaciones para el comercio.

- La cuestión de la alineación de los LMR de la Unión Europea con los CXL, siempre que la UE establezca LMR para los productos considerados. Actualmente, los LMR fijados por la Unión Europea son inferiores a los CXL. A este respecto, la Unión Europea formulará reservas sobre el avance de los LMR propuestos por el Codex al examinar sustancias específicas en caso de que falten datos concretos.

- El objetivo principal es proporcionar alimentos sanos y asequibles, además de reducir el impacto medioambiental de la industria alimentaria mediante normativas sobre diferentes temas, como los pesticidas y sus residuos. El objetivo para 2030 es reducir el uso de pesticidas químicos en un 50%. Esta normativa también se aplica a los productos importados a la UE, por lo que afecta a países de fuera de la UE. También hay que tener en cuenta que, en función de las prioridades fijadas por la UE, esta normativa puede sufrir modificaciones.

- El número de plaguicidas de la UE utilizados en la producción de plátanos evaluados en la actualidad se reducirá y se ha reducido drásticamente debido principalmente al cambio actual de riesgo a peligro y a la implicación del listado PIC de productos químicos, incluidos los plaguicidas (el procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo forma parte del Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional. El procedimiento PIC tiene por objeto garantizar que determinados productos químicos y plaguicidas peligrosos no se exporten sin el consentimiento fundamentado previo del país importador).

- Todas estas restricciones de la UE, que no tienen una base estrictamente científica, pueden tener efectos indirectos en el mantenimiento de la gestión integrada de plagas (GIP) que promueven los reglamentos de la UE, con efectos significativos en el comercio nacional e internacional y, por tanto, en la seguridad alimentaria mundial.