Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia

Impacto de la erradicación con metam-sodio y urea sobre *Ralstonia solanacearum* y la salud del suelo en banano – Finca comercial Universidad EARTH

Desirée Karin Chang Villatoro[1], Nahomi Gisele Grandes Solís[1], Miguel Ángel Dita Rodríguez[2], Adrián Jiménez Zúñiga[1], Jaime Honorato Junior[1]*

[1]Universidad EARTH; Costa Rica, [2]Investigador independiente, Brasil

***Autor de correspondencia:** Jaime Honorato Junior jhonorato@earth.ac.cr

Contribución: Artículo Científico

Sección: Fitosanidad

Recibido: 15 diciembre, 2025

Publicado: 30 abril, 2026

Cita: Chang Villatoro DK, Grandes Solís NG, Dita Rodríguez MA, Jiménez Zúñiga A, Honorato Junior J. 2026. Impacto de la erradicación con metam-sodio y urea sobre *Ralstonia solanacearum* y la salud del suelo en banano – Finca comercial Universidad EARTH. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 3(1): 122 https://doi.org/10.62498/ARTC.26122

RESUMEN

El moko del banano, causado por *Ralstonia solanacearum* raza 2, representa una de las principales limitantes fitosanitarias en musáceas en América Latina. El método convencional de erradicación se basa en la aplicación de metam-sodio (Vapam® 51 GE), fumigante químico de amplio espectro. Sin embargo, su impacto sobre la microbiota y la dinámica química del suelo genera cuestionamientos sobre su sostenibilidad. El presente estudio comparó el tratamiento convencional con metam-sodio y una alternativa basada en la aplicación de urea, evaluando la población de *R. solanacearum* y los cambios en factores bióticos y abióticos del suelo. Se establecieron tres experimentos independientes bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Se realizaron evaluaciones en T0, T1 (90 días) y T2 (180 días). El metam-sodio mostró reducción rápida del patógeno entre T0 y T1, seguida de un rebrote en T2. La urea mantuvo poblaciones bajas y estables durante todo el periodo. La alternativa con urea evidenció menor alteración de la microbiota del suelo. Los resultados indican que la urea puede constituir una estrategia complementaria para el manejo sostenible del moko en sistemas comerciales.

Palabras clave: *Musa* spp., Tratamiento de suelo, Microbiota de suelo, Rizosfera, Manejo integrado de enfermedades

ABSTRACT

Moko disease, caused by *Ralstonia solanacearum* race 2, is one of the main phytosanitary constraints affecting banana production in Latin America. The conventional eradication method relies on metam-sodium (Vapam® 51 GE), a broad-spectrum soil fumigant. However, its impact on soil microbial communities and chemical dynamics raises sustainability concerns. This study compared the conventional metam-sodium treatment with an alternative based on urea application, evaluating *R. solanacearum* populations and changes in biotic and abiotic soil factors. Three independent experiments were established under a completely randomized design with three replicates per treatment. Evaluations were conducted at T0, T1 (90 days), and T2 (180 days). Metam-sodium caused a rapid reduction of the pathogen between T0 and T1, followed by a population rebound at T2. Urea maintained low and stable pathogen levels throughout the evaluation period and caused less disruption to soil microbiota. Results suggest that urea represents a promising complementary strategy for sustainable moko management in commercial systems.

Keywords: *Musa* spp., Soil treatment, Soil microbiota, Rhizosphere, Integrated diseases management

Copyright: © 2026 por los autores. Licencia Acorbat Internacional. Este artículo es de acceso libre y distribuido bajo los términos de Acorbat Internacional

INTRODUCCIÓN

El moko del banano es causado por *Ralstonia solanacearum* (Smith 1896) Yabuuchi *et al*. (1995), complejo de especies bacterianas responsables de marchiteces vasculares en diversos cultivos (Fegan y Prior, 2006). La raza 2 afecta principalmente musáceas y se distribuye ampliamente en América Latina. La bacteria sobrevive en suelo, residuos vegetales y material de siembra, y se disemina por agua, herramientas contaminadas e insectos (SENASICA, 2023).

La ausencia de variedades comerciales resistentes obliga a implementar estrategias basadas en erradicación de focos y desinfección rigurosa. En sistemas comerciales, el metam-sodio es uno de los productos más utilizados para el tratamiento del suelo tras la eliminación de plantas enfermas (Torres-González *et al*., 2013). No obstante, los fumigantes químicos pueden alterar significativamente la microbiota y la dinámica de carbono y nitrógeno del suelo (Sennett *et al.,* 2022).

La urea ha sido propuesta como alternativa debido a que su hidrólisis puede generar acumulación de nitrito y cambios de pH que suprimen patógenos del suelo. Sin embargo, su impacto específico sobre *R. solanacearum* en condiciones de producción comercial requiere validación.

El objetivo de este estudio fue comparar el efecto del metam-sodio y la urea sobre la población de *R. solanacearum* y sobre la salud del suelo en la Finca Comercial de la Universidad EARTH.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en la Finca Comercial de Banano de la Universidad EARTH, Guácimo, Limón, Costa Rica.

Diseño experimental

Se establecieron tres experimentos independientes en focos confirmados de moko. Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones: 1) Metam-sodio (Vapam® 51 GE); 2) Urea. Las evaluaciones se realizaron en T0 (antes de aplicación), T1 (90 días) y T2 (180 días).

Confirmación del patógeno

Se aislaron colonias en medios selectivos, se realizaron pruebas rápidas de diagnóstico y confirmación molecular por genotipificación, corroborando la presencia de *R. solanacearum* en todos los focos evaluados (Torres-González *et al*., 2013).

Evaluaciones microbiológicas

Las poblaciones bacterianas se cuantificaron como unidades formadoras de colonia (UFC mL^{-1}) tras incubación a 28 °C. Se evaluó también la diversidad bacteriana y fúngica total mediante recuentos en placa (Patiño *et al*., 2022; Pavone, 2022).

Análisis químicos del suelo

Se determinó acidez extractable (KCl 1 N), macro y microelementos mediante Mehlich 3 y carbono/nitrógeno total por combustión seca (método de Dumas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contexto fitopatológico y epidemiológico del moko

Los resultados obtenidos confirman que el moko del banano continúa siendo una de las enfermedades bacterianas más limitantes para los sistemas productivos de musáceas en condiciones tropicales húmedas, especialmente en regiones caracterizadas por alta precipitación, temperaturas elevadas y producción intensiva. Este comportamiento coincide con lo reportado para América Latina y el Caribe, donde el cultivo de banano enfrenta desafíos fitosanitarios estructurales asociados a patógenos vasculares (Dita *et al*., 2011; SENASICA, 2023).

La dinámica epidemiológica observada reafirma el carácter sistémico y altamente agresivo de *Ralstonia solanacearum*, cuya colonización vascular compromete rápidamente el transporte de agua y fotoasimilados, conduciendo al marchitamiento irreversible de la planta (Hayward, 1991; Denny, 2006). La sintomatología externa e interna descrita en campo concuerda con los patrones diagnósticos establecidos para el complejo especie *R. solanacearum* (García *et al*., 2019).



Figura 1. Sintomatología del moko en banano. Síntomas externos e internos característicos del moko del banano (marchitez foliar, colapso del pseudotallo y necrosis vascular. Fuente: Corbana, 2019.

En términos espaciales, la progresión de la enfermedad sugiere un patrón agregado inicial con expansión radial posterior, consistente con diseminación mecánica por herramientas contaminadas, movimiento de suelo y agua de escorrentía. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado para el complejo *R. solanacearum*, cuya alta variabilidad genética y plasticidad ecológica favorecen su persistencia en sistemas tropicales (Fegan & Prior, 2005; Fegan & Prior, 2006).

Efecto de metam-sodio y urea sobre poblaciones de *R. solanacearum*

El metam-sodio redujo la población bacteriana de aproximadamente 25 a 5 UFC mL^{-1} a los 90 días; sin embargo, a los 180 días se observó un incremento hasta valores cercanos a 16–18 UFC mL^{-1}, evidenciando un efecto transitorio. Este comportamiento es coherente con la acción fumigante de liberación rápida del metam-sodio (metilisotiocianato), cuyo efecto disminuye conforme se restablece la microbiota edáfica (An American Vanguard Company, 2022; Sennett *et al*., 2022).

En contraste, la urea mantuvo poblaciones entre 2–5 UFC mL^{-1} durante todo el periodo de evaluación, sin evidenciar rebrote significativo. Este efecto podría estar asociado a cambios en la dinámica microbiana y procesos de nitrificación que generan condiciones menos favorables para la supervivencia del patógeno (Staley *et al*., 2018). La estabilidad observada sugiere un mecanismo indirecto vinculado a modificaciones en el ambiente edáfico más que a una acción bactericida inmediata.

El metam-sodio produjo una reducción amplia de la microbiota general en T1, con recuperación parcial en T2, fenómeno consistente con estudios que documentan alteraciones en el carbono y nitrógeno del suelo tras fumigación química (Sennett *et al*., 2022). Por su parte, la urea mostró menor alteración en la diversidad bacteriana y fúngica, incrementando temporalmente el nitrógeno disponible sin generar cambios críticos en pH o macroelementos.

Estos resultados coinciden parcialmente con reportes previos sobre manejo químico del moko, donde la eficacia depende tanto del producto como de la interacción con las condiciones edafoclimáticas y prácticas culturales (Torres-González *et al*., 2013).

Manejo integrado y dinámica de diseminación del moko

Un aspecto crítico evidenciado es la interacción entre prácticas agronómicas y presión de inóculo. La ausencia de protocolos estrictos de desinfección y erradicación temprana incrementa significativamente la tasa de infección secundaria, tal como ha sido descrito en manuales técnicos de manejo regional (CORBANA, 2019; SENASICA, 2023).

Desde una perspectiva de manejo integrado, los resultados confirman que no existe una estrategia única eficaz. El control requiere un enfoque multifactorial que combine: 1) Diagnóstico temprano (García *et al*., 2019); 2) Erradicación sanitaria inmediata (Hayward, 1991); 3) Manejo del movimiento de suelo y agua (CORBANA, 2019); 4) Capacitación del personal (Finca comercial Universidad EARTH); 5) Uso de material de siembra certificado y, cuando sea posible, genotipos con tolerancia relativa (Valencia *et al*., 2014).

El manejo preventivo resulta significativamente más eficiente que las acciones correctivas tardías, especialmente considerando la capacidad de supervivencia del patógeno en restos vegetales y hospederos alternativos (Denny, 2006).

Validación en finca comercial – Universidad EARTH

La experiencia operacional en la Finca Comercial de la Universidad EARTH proporciona evidencia cuantitativa del impacto del manejo integrado. En 2019 se registraron 1.889 casos (4,5 casos ha^{-1}), afectando más del 10 % del área sembrada. Tras el fortalecimiento del programa basado en detección temprana, erradicación inmediata, protocolos estrictos de desinfección y capacitación continua, los casos se redujeron a 193 en 2025 (0,4 casos ha^{-1}), equivalente a una disminución del 90 %.

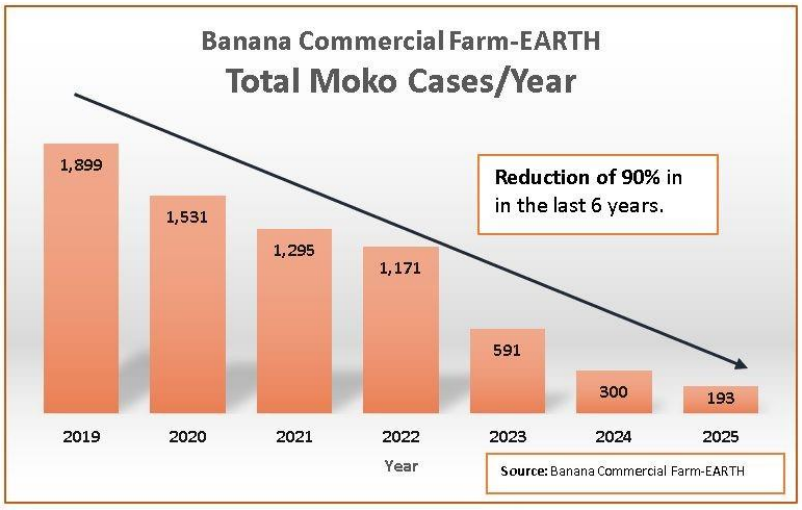


Figura 2. Evolución de casos de moko detectados en Finca comercial – Universidad EARTH.

Este comportamiento confirma que la disciplina operativa y la cohesión del equipo técnico son determinantes en la reducción de incidencia, más allá del insumo químico utilizado. Modelos similares han sido descritos como estrategias exitosas de contención en sistemas comerciales (Sánchez & García, documento técnico).

Asimismo, el protocolo implementado (flujo de decisiones sanitarias) demuestra que la integración sistemática de monitoreo, diagnóstico y bioseguridad puede desacelerar significativamente la diseminación del patógeno.

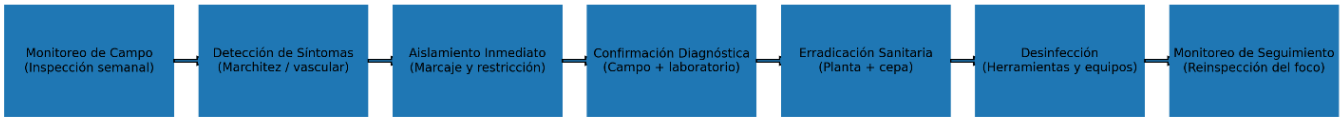


Figura 3. Esquema del protocolo de manejo integrado implementado en la finca comercial (flujo de decisiones sanitarias).

Diversidad genética y sostenibilidad futura

La variabilidad entre razas y filotipos del complejo *R. solanacearum* influye directamente en agresividad y rango de hospedantes, lo que subraya la necesidad de caracterización molecular regional (Fegan & Prior, 2005; Fegan & Prior, 2006). Esta diversidad genética constituye un desafío para estrategias basadas exclusivamente en control químico.

En términos socioeconómicos, el impacto del moko trasciende la reducción del rendimiento, afectando la estabilidad productiva y los costos asociados a erradicación y cuarentenas internas (SENASICA, 2023). Bajo escenarios de cambio climático, modificaciones en temperatura y régimen hídrico podrían alterar los patrones epidemiológicos, reforzando la necesidad de vigilancia fitosanitaria continua (Dita *et al*., 2011).

CONCLUSIONES

El metam-sodio mostró acción rápida pero efecto transitorio sobre las poblaciones de *R. solanacearum*.

La urea evidenció supresión más estable del patógeno y menor impacto negativo sobre la microbiota del suelo.

El manejo sostenible del moko requiere integrar alternativas químicas y nutricionales dentro de programas disciplinados de erradicación y bioseguridad.

La validación en finca comercial demostró que la combinación de conocimiento técnico, monitoreo sistemático y disciplina operativa puede reducir significativamente la incidencia de la enfermedad.

REFERENCIAS

An American Vanguard Company. 2022. Ficha técnica Vapam® 51 GE.

CORBANA. 2019. Diseminación del moko en cultivos de banano y plátano. Corporación Bananera Nacional.

Denny TP. 2006. Plant pathogenic *Ralstonia* species. *In*: Gnanamanickam, S.S. (Ed.), Plant-Associated Bacteria. Springer.

Dita MA, *et al*. 2011. Banana in Latin America and the Caribbean: current state and challenges. Acta Horticulturae 986:365–380.

Fegan M, Prior P. 2006. Diverse members of the *Ralstonia solanacearum* species complex cause bacterial wilts of banana. Australasian Plant Pathology 35:93–101.

Fegan M, Prior P. 2005. How complex is the "*Ralstonia solanacearum* species complex"? *In*: Allen, C., Prior, P., Hayward, A.C. (Eds.), Bacterial Wilt Disease and the *Ralstonia solanacearum* Species Complex. APS Press.

García R, Kerns J, Thiessen L. 2019. *Ralstonia solanacearum* species complex: diagnostic guide. Plant Health Progress 20:7–13.

Hayward AC. 1991. Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Annual Review of Phytopathology 29, 65–87.

Sánchez G, García J. (Año del documento base). Manejo del moko del banano en sistemas tropicales. Documento técnico.

Sennett LB, Burton DL, Goyer C, Zebarth BJ. 2022. Chemical fumigation alters soil carbon and nitrogen dynamics. Geoderma 419:115878.

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2023. *Ralstonia solanacearum* raza 2: Moko del plátano. Gobierno de México.

Staley, *et al*. 2018. Urea amendment decreases microbial diversity. Frontiers in Microbiology 9:634.

Torres-González C, Casas M, Díaz J. 2013. Manejo de *Ralstonia solanacearum* raza 2 a través de productos químicos y biológicos. Iteckne 10:217–233.

Valencia L, Álvarez-Cabrera E, Castaño-Zapata J. 2014. Resistencia de genotipos de plátano y banano a Ralstonia solanacearum raza 2. Facultad de Ciencias Agropecuarias.