Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia

Compatibilidad funcional de extractos alcalino-atmosféricos de *Ascophyllum nodosum* canadiense con fungicidas utilizados en el control de *Pseudocercospora fijiensis* (*Mycosphaerella fijiensis*)

Christian J. Pérez O.[1*], Edwin A. Morales[1], Cleiton J. Alves[1], Marcos Bettini[1], David O. Chacón[1], Lina M. Castaño[1], Diego, A. Calderón[1]

[1]Acadian Seaplants Limited, 30 Brown Ave, Dartmouth, NS B3B 1X8, Canadá.

***Autor de correspondencia:**
Christian J. Pérez O.
cperez@acadian.ca

Contribución:
Artículo Científico

Sección:
Fitosanidad

Recibido:
15 diciembre, 2025
Publicado:
30 abril, 2026

Cita:
Pérez C, Morales E, Alves C, Bettini M, Chacón D, Castaño L y Calderón D. 2026. Compatibilidad funcional de extractos alcalino-atmosféricos de *Ascophyllum nodosum* canadiense con fungicidas utilizados en el control de *Pseudocercospora fijiensis* (*Mycosphaerella fijiensis*). *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia* 3(1): 109 https://doi.org/10.62498/ARTC.26109

RESUMEN

Este estudio evaluó la compatibilidad física-química y la eficacia in vitro de mezclas de extractos alcalinos de *Ascophyllum nodosum* al 20 % de materia seca (ANE A) y al 29 % de materia seca (ANE B) con fungicidas DMI (difenoconazol e isopirazam) y fenpropidin usados en el manejo integrado de la Sigatoka Negra en banano. Se prepararon soluciones de mezclas de bioestimulante (1, 5 y 10 %) y fungicida (0,1 y 10 mg L^{-1}), se midieron pH y presencia de precipitados tras una hora y se determinó la EC_{50} y la inhibición del tubo germinativo de *Pseudocercospora fijiensis*. Las mezclas no mostraron antagonismo y alcanzaron inhibiciones de 70–97 % comparables entre el fungicida solo y las mezclas con bioestimulante, respaldando su compatibilidad funcional en condiciones controladas *in vitro*.

Palabras clave: Sensibilidad *in vitro*, Extracto de algas, Bioestimulantes, Sostenibilidad

ABSTRACT

This study evaluated the physicochemical compatibility and in vitro efficacy of mixtures of alkaline extracts of *Ascophyllum nodosum* at 20% dry matter (ANE A) and 29% dry matter (ANE B) with DMI fungicides (difenoconazole and isopyrazam) and fenpropidin used in the integrated management of Black Sigatoka in bananas. Mixtures containing 1, 5 y 10% biostimulant and 1,0 y 10 mg L^{-1} fungicide were prepared; pH and precipitate formation were assessed after one hour, and EC_{50} and germ tube inhibition of *Pseudocercospora fijiensis* were determined. The mixtures showed no antagonism and achieved 70–97 % inhibition values comparable to the fungicides alone, supporting its functional compatibility under controlled *in vitro* conditions.

Keywords: *In vitro* sensitivity, Seaweed extract, Biostimulants, Sustainability

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

INTRODUCCIÓN

Pseudocercospora fijiensis, agente causal de la Sigatoka negra, constituye una de las principales amenazas fitosanitaria en el cultivo de banano a escala global, con presencia reportada en 74 países distribuidos en cuatro continentes (EPPO, 2022). La enfermedad compromete significativamente la productividad del cultivo, no solo por sus efectos directos sobre la fisiología de la planta y el rendimiento, sino también por los altos costos que implica su control fitosanitario, de hasta 35 dólares estadounidenses por hectárea y por semana para mantener niveles adecuados de control en Colombia (Augura, 2023). Para Ecuador, país líder en exportaciones, se han estimado pérdidas del 20 % en el peso del racimo durante la temporada lluviosa y de hasta un 6 % en época seca debido al impacto de esta enfermedad (Terrero *et al*., 2020).

El manejo químico convencional de *Pseudocercospora fijiensis* en banano se basa en el uso rotacional o en mezcla de fungicidas con distintos mecanismos de acción, entre los que destacan los inhibidores de la desmetilación (DMI) como el difenoconazol e isopirazam, así como las estrobilurinas como el fenpropidin, perteneciente al Grupo 7 del FRAC. No obstante, la eficacia de estas moléculas se puede ver comprometidas por la aparición de cepas del patógeno con sensibilidad reducida o resistencia cruzada, resultado del uso intensivo y repetido de estos principios activos. Esta situación ha generado una preocupación creciente en la industria bananera y ha llevado a que el monitoreo continuo de la sensibilidad fúngica a estos productos sea considerado una herramienta esencial para el diseño de estrategias de manejo fitosanitario integrado y sostenible (Pérez-Vicente, 2012).

Por otra parte, través de análisis de composición química (Valverde *et al*., 2022) y metabolómica (Craigie *et al*., 2008) se ha determinado que el proceso utilizado para elaborar un extracto es una variable importante para definir su composición y consistencia, encontrando que los extractos alcalinos de *Ascophyllum nodosum* (100 % puros) muestran perfiles consistentes de compuestos bioactivos asociados a la inducción de defensas vegetales, con ventajas comparativas frente a otras especies de algas como *Ecklonia maxima* y *Sargassum*. Debido a estas características y efectos bioactivos únicos, estos bioestimulantes actúan como elicitores eficaces que promueven el crecimiento vegetal, fortalecen las defensas frente al estrés abiótico y modulan el microbioma (Ali *et al*., 2021), compatible con la gestión integrada y sostenible del cultivo de banano.

Finalmente, a pesar de que la mezcla de fungicidas con bioestimulantes es una práctica potencialmente sostenible (Ali *et al*., 2021), aún no se ha evaluado de manera integral la compatibilidad físico-química ni su efecto sobre la eficacia *in vitro* de estas

mezclas frente a *Pseudocercospora fijiensis*. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo demostrar la compatibilidad funcional y estabilidad física-química en tanque de mezclas entre extractos alcalinos de *Ascophyllum nodosum* (ANE A y ANE B) y los fungicidas difenoconazol, isopirazam y fenpropidin, como verificación técnica bajo condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los extractos comerciales ANE A y ANE B se obtuvieron mediante extracción alcalina-atmosférica bajo la metodología exclusiva propiedad de Acadian Seaplants Limited, Canadá. Para la prueba de sensibilidad *in vitro* se emplearon los protocolos de la Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB, 2025). El inóculo consistió en ascosporas de *Pseudocercospora fijiensis* extraídas de pseudotecios recolectados en Antioquia (Colombia). Para la obtención del inóculo se utilizaron subcultivos frescos del hongo, incubados durante 15–20 días a 26 °C en medio PDA. A partir de estos cultivos se recolectó micelio, el cual fue macerado y fragmentado en presencia de agua estéril. La suspensión resultante se filtró para obtener fragmentos de micelio uniformes y posteriormente se ajustó, mediante una cámara de Neubauer, a una concentración final de 2×10^5 fragmentos de micelio/mL.

El montaje del ensayo fue en microplacas de 96 pozos, en cada pozo se adicionaron 100 µL de medio Sabouraud, 50 µL de inóculo y 50 µL de las mezclas en evaluación, obteniendo un volumen final de 200 µL por pozo. Las placas se incubaron a 27 °C ± 2 durante 15 días. Cada pozo se consideró una réplica independiente, evaluándose un total de cinco réplicas. El crecimiento se determinó espectrofotométricamente en un lector de ELISA, midiendo la absorbancia a 595 nm al tiempo cero y a los quince días de incubación. A partir de los valores obtenidos se calcularon la media, la desviación estándar, el porcentaje de inhibición y la EC_{50}, todos referidos al control.

La prueba incluyó tratamientos con fungicida solo en concentraciones de 1,0 mg L^{-1} para difenoconazol (250 g L^{-1}); de 10 mg L^{-1} de isopirazam (125 g L^{-1}) y 1,0 mg L^{-1} de fenpropidin (750 g L^{-1}) y mezclas de los extractos (ANE A y ANE B) en proporciones de 1 %, 5 % y 10 % (v/v) más el fungicida.

La compatibilidad físico-química de tanque entre los extractos ANE A / ANE B y los fungicidas se evaluó en condiciones controladas, preparando mezclas en agua a dosis comerciales (ANE A 0,75 L ha^{-1}; ANE B 0,5 L ha^{-1}; difenoconazol 0,5 L ha^{-1}; isopirazam 0,6 L ha^{-1}; fenpropidin 0,6 L ha^{-1}), con agitación mecánica (IKA RW-20,

825 rpm) hasta completar un volumen proporcional equivalente a 23 L ha^{-1} de mezcla final en triplicado.

La estabilidad se monitoreó a los 0, 5, 15, 30, 45 y 60 minutos post-mezcla. Además del pH y la presencia de precipitados, se incorporaron parámetros de compatibilidad: estabilidad de emulsión, evaluada visualmente por separación de fases y presencia de anillos oleosos o sobrenadantes; floculación y/o coagulación, registrada por formación de grumos, agregados, flóculos o sedimentación y cambios de viscosidad, estimados por el comportamiento de flujo comparativo de la mezcla recién mezclada y en reposo (incremento evidente de espesamiento, gelificación o pérdida de fluidez).

Se consideró mezcla compatible cuando no se observaron separación de fases persistente, floculación/coagulación, sedimentación relevante o incremento marcado de viscosidad durante el periodo de 60 minutos, y cuando el pH se mantuvo estable dentro del rango operacional observado para cada mezcla.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación *in vitro* de la eficacia antifúngica (Figura 2) difenoconazol solo (1,0 mg L^{-1}) obtuvo 96,56 % mientras que la combinación ANE A 10 % + difenoconazol (1,0 mg L^{-1}) alcanzó una inhibición del 97,12 % con una EC_{50} de 0,602 % de extracto; la mezcla ANE B 10 % + difenoconazol (1,0 mg L^{-1}) obtuvo un 92,37 % de inhibición y una EC_{50} de 0,543 % de extracto. Con isopirazam solo (10 mg L^{-1}) se determinó 88,77 %, mientras que la mezcla ANE A al 10 % produjo una inhibición del 96,10 % (EC_{50} = 0,551 %) y ANE B al 10 % alcanzó el 94,75 % (EC_{50} = 0,563 %). En el caso de fenpropidin solo (1 mg L^{-1}) se reportó 69,31 %, y la mezcla con ANE A al 10 % mostró una inhibición del 87,33 % (EC_{50} = 0,676 %), mientras que la combinación con ANE B al 10 % resultó en un 77,05 % de inhibición (EC_{50} = 0,715 %).

Los resultados confirman que ANE A y ANE B no antagonizan la actividad fungicida manteniendo inhibiciones ≥ 70 %. Ali *et al.,* (2021), señala que los extractos de algas marinas no solo promueven el crecimiento y desarrollo vegetal, sino que también, se caracterizan por su alta compatibilidad con diversos insumos agrícolas, incluidos fertilizantes y agroquímicos, lo que permite su integración efectiva en esquemas modernos de manejo agrícola sostenible, además se han demostrado, que estos bioestimulantes conservan su eficacia biológica incluso cuando se aplican en combinación con otros productos, respaldando su uso funcional en programas

integrados de manejo fitosanitario sin comprometer su actividad fisiológica ni la de los fungicidas asociados.

En la compatibilidad físico-química (Figura 2), en ningún tiempo de evaluación (0–60 minutos) se registraron señales de separación de fases, floculación ni cambios apreciables de viscosidad; las mezclas permanecieron homogéneas bajo reposo y no presentaron sedimentación relevante, no se observó una variación de pH (6,6 a 7,6 con ANE A y 8.1 a 8,4 con ANE B) o precipitación significativos en las mezclas, corroborando la aptitud para aplicación conjunta, en un volumen comúnmente utilizado en el cultivo de banano de 23 L ha^{-1}.

Pessoa *et al.* (2024) realizaron un estudio que evaluó la compatibilidad físico-química entre diferentes clases de productos agrícolas incluyendo fungicidas y biostimulantes cuando se mezclan en soluciones para aplicación foliar. Estos autores, examinaron parámetros como presencia de floculación, sedimentación, separación de fases, formación de grumos y pH, utilizando concentraciones recomendadas y agitación continua. Los resultados reportaron que la compatibilidad depende del tiempo de reposo, la agitación y las características de cada formulación, y que en ciertas condiciones la mezcla permanece estable durante al menos 30 minutos tras su preparación. Esto es muy importante a considerar en cuanto a aplicaciones aéreas donde el periodo entre preparación de la avioneta y llegada al cultivo debe asegurar una estabilidad de al menos una hora en ciertos casos.

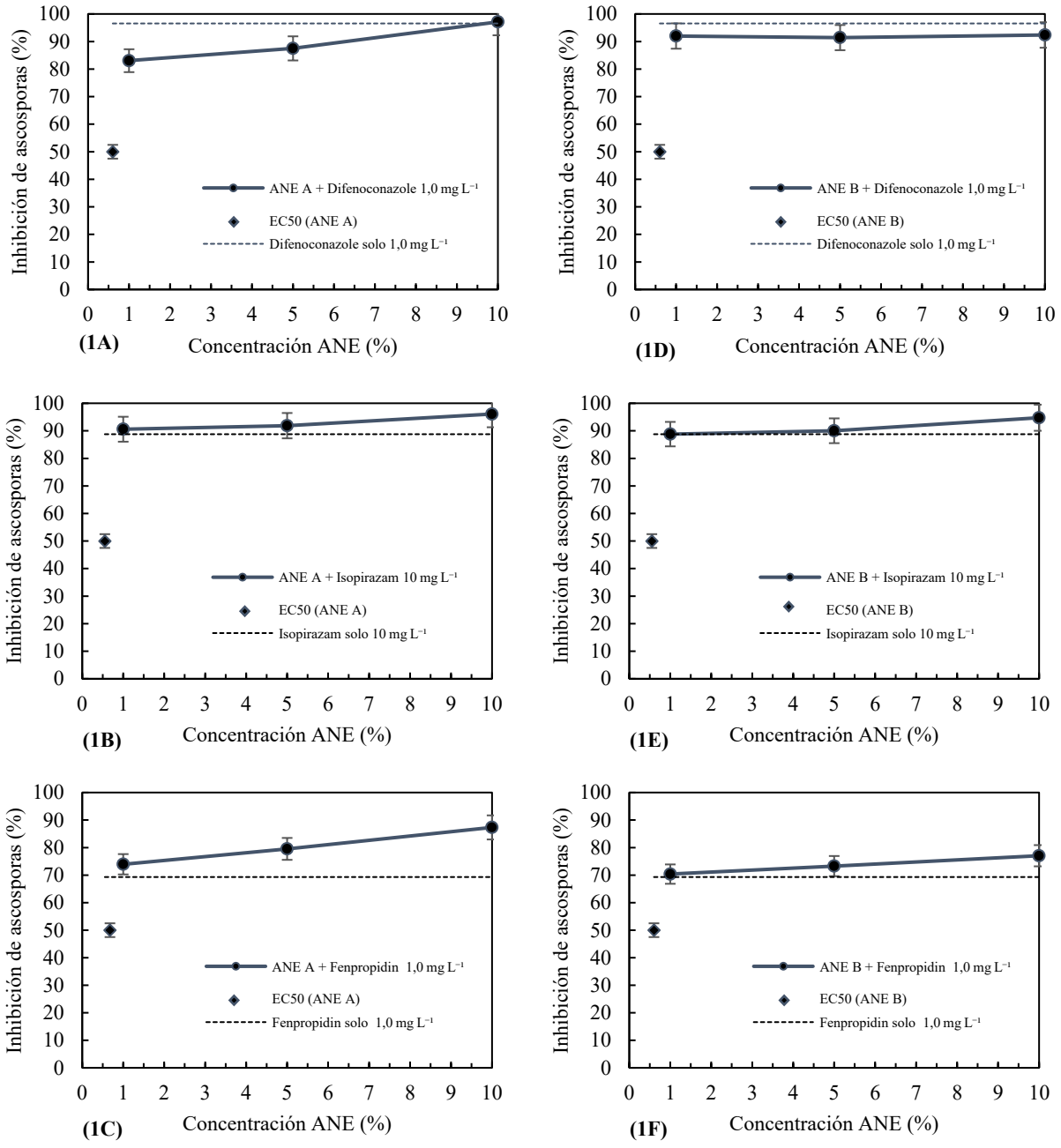


Figura 1. Representación de la concentración efectiva media (EC50) y porcentaje de inhibición de ascosporas con la aplicación *in vitro* de fungicidas difenoconazol (1,0 mg L^{-1}) isopirazam (10 mg L^{-1}) y fenpropidin (1 mg L^{-1}) en mezcla con los bioestimulantes (A, B, C) ANE A y (D, E, F) ANE B en concentraciones de 1, 5 y 10 %. Los valores corresponden a la media de cinco pozos independientes por tratamiento (n = 5). Las barras de error representan un 5 % del valor medio. La línea horizontal discontinua indica el 50 % de inhibición. Las líneas conectan los puntos únicamente para facilitar la visualización de la tendencia.

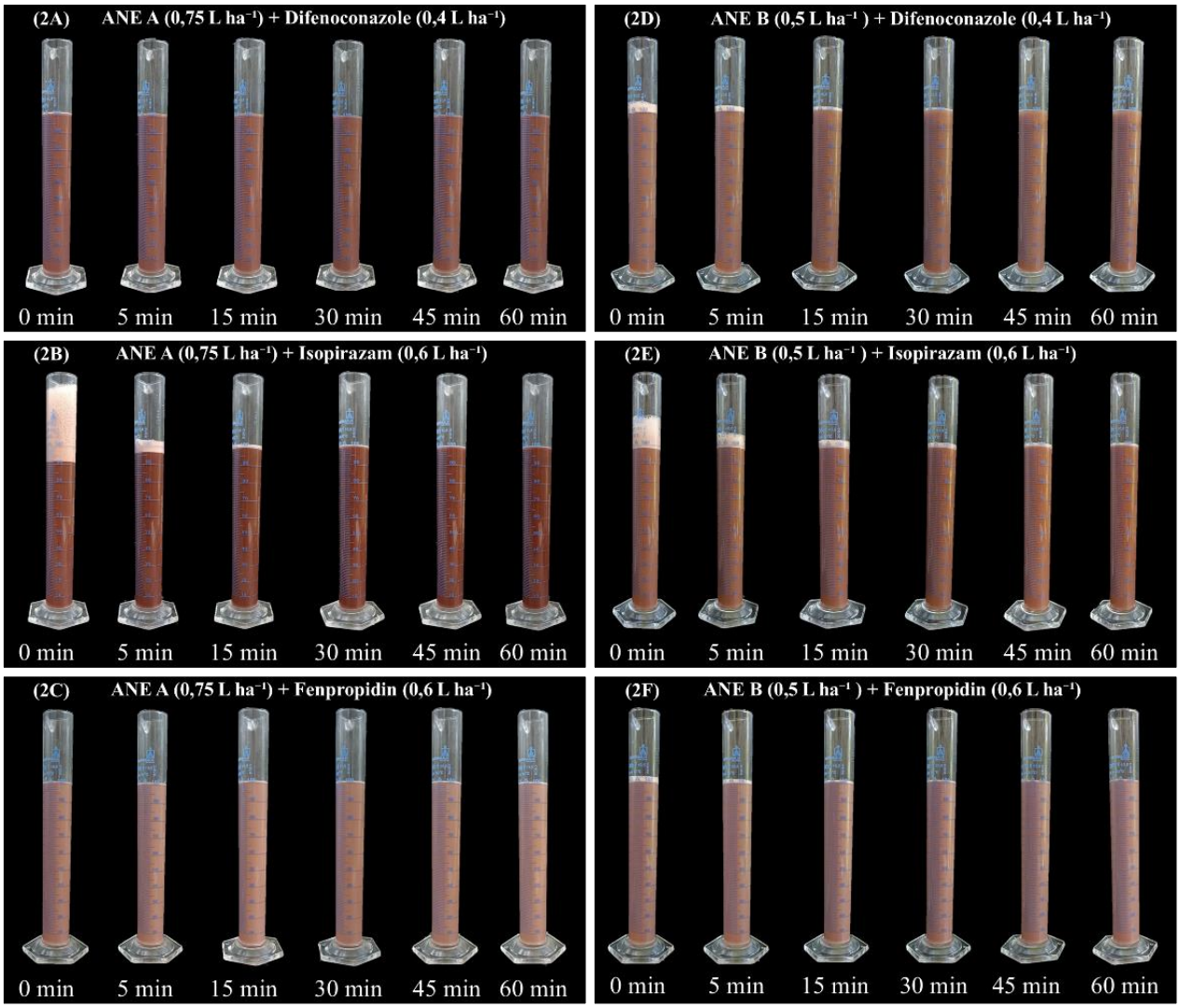


Figura 2. Estabilidad de mezclas en solución hasta 60 minutos de los fungicidas difenoconazol (0,5 L ha^{-1}), isopirazam (0,6 L ha^{-1}) y fenpropidin (0,6 L ha^{-1}) en mezcla con los bioestimulantes (A, B, C) ANE A 0,75 L ha^{-1} y (D, E, F) ANE B 0,5 L ha^{-1}. La estabilidad de las mezclas se evaluó de forma visual a los 0, 5, 15, 30, 45 y 60 minutos (min) posteriores a la preparación, considerando la presencia de precipitación, separación de fases, floculación y cambios aparentes de viscosidad. No se observaron alteraciones visibles durante el periodo evaluado. Los resultados corresponden a tres preparaciones independientes por tratamiento (n = 3).

CONCLUSIONES

Los extractos alcalinos de *Ascophyllum nodosum* (ANE A y ANE B) mostraron compatibilidad funcional *in vitro* con los fungicidas difenoconazol, isopirazam y

fenpropidin de Syngenta®, al no evidenciarse antagonismo en la actividad antifúngica frente a *Pseudocercospora fijiensis*. Las mezclas evaluadas mantuvieron niveles de inhibición comparables a los fungicidas aplicados de forma individual, lo que indica que la presencia de los extractos no interfirió con la respuesta del patógeno bajo las condiciones del bioensayo. En las pruebas de compatibilidad físico-química en tanque, las mezclas permanecieron estables hasta 60 minutos después de su preparación, sin observarse precipitación, separación de fases, floculación ni cambios apreciables de viscosidad, y con valores de pH que se mantuvieron dentro de rangos operativos para cada mezcla. Estos resultados confirman la estabilidad física de las mezclas en condiciones controladas de laboratorio, dentro del intervalo temporal evaluado. Los hallazgos obtenidos se limitan a condiciones *in vitro* y a pruebas de compatibilidad físico-química, por lo que no permiten inferir efectos agronómicos, fisiológicos o de eficacia en campo. Estudios adicionales en condiciones de campo serán necesarios para evaluar el desempeño biológico y agronómico de estas mezclas bajo escenarios productivos reales.

REFERENCIAS

Ali O, Ramsubhag A, and Jayaraman J. 2021. Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. Plants, 10(3), 531. https://doi.org/10.3390/plants10030531

Augura. 2023. Coyuntura bananera 2023. https://augura.com.co/wp-content/uploads/2022/04/COYUNTURA-BANANERA-2023.pdf

CIB. 2025. Informe Pruebas de Sensibilidad de *Pseudocercospora fijiensis* frente a diferentes tratamientos (Reporte No. 2024003). Corporación para Investigaciones Biológicas.

Craigie JS, MacKinnon SL and Walter JA. 2008. Liquid seaweed extracts identified using 1H NMR profiles. J Appl Phycol 20, 665–671. https://doi.org/10.1007/s10811-007-9232-1

EPPO. 2022. *Pseudocercospora fijiensis* (MYCOFI). https://gd.eppo.int/taxon/MYCOFI/distribution

García Munguía AM, García Munguía A, Acosta Ramos M, García Munguía O, Orozco Santos M, Ibarra Juárez LA y García Munguía CA. 2022. Sensibilidad *in vitro* de *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) a los fungicidas sistémicos. Revista Fitotecnia Mexicana, 45(1), 117–125. https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.117

Pérez Vicente L. 2012. A Holistic Integrated Management Approach to Control Black Sigatoka Disease of Banana Caused by *Mycosphaerella fijiensis* (Technical Manual TCP/SLC/3402). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Pessoa PH, Silva HA, Lima LS, Assis RB, Neres NA, Almeida JC and Andrade CLL. 2024. Chemical characteristics and compatibility of mixtures at different agricultural application rates. Brazilian Journal of Science, 3(7), 89–114. https://doi.org/10.14295/bjs.v3i7.612

Terrero P, Peñaherrera S, Bustamante A, Cedeño G y Solórzano R. 2020. Inducción de resistencia a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y su relación con el rendimiento de plantas de banano (*Musa* AAA) CV. Williams. Revista Espamciencia, 11(2), 80–87. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.230

Valverde S, Williams PL, Mayans B, Lucena JJ and Hernández Apaolaza L. 2022. Comparative study of the chemical composition and antifungal activity of commercial brown seaweed extracts. Frontiers in Plant Science, 13, Article 1017925. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1017925