



Eficacia de cinnacontrol sobre *Mycosphaerella fijiensis* en fincas de banano en la provincia de Los Ríos

Effectiveness of Cinnacontrol against *Mycosphaerella fijiensis* on banana farms in Los Ríos province

Eficácia do Cinnacontrol contra *Mycosphaerella fijiensis* em plantações de banana na província de Los Ríos

ARTÍCULO ORIGINAL



Luis Adrián Suarez García¹

lfsalsa1010@gmail.com

Manuel Eduardo Gómez Peñaherrera²

manueleduardo2@gmail.com

Nelson Enrique Vincés Vélez²

nelsonvincés@hotmail.com

Jorge Luis Viteri Gavilanes²

luivi-1998@hotmail.com

¹DOLE – Departamento de Servicios Agrícolas. Babahoyo, Ecuador

²AGROVIGOR pasión por el agro S.A. Babahoyo, Ecuador

Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.409>

Artículo recibido: 6 de julio 2025 / Arbitrado: 25 de agosto 2025 / Publicado: 10 de septiembre 2025

RESUMEN

La sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis*, representa uno de los principales desafíos fitosanitarios en la producción mundial de banano, causando pérdidas económicas significativas que pueden alcanzar hasta el cincuenta por ciento del rendimiento en plantaciones comerciales. El objetivo del estudio es evaluar la eficacia del extracto de canela (Cinnacontrol) en el control de la sigatoka negra en plantaciones bananeras de la provincia de Los Ríos. El enfoque es cuantitativo, tipo experimental aplicado, con diseño en bloques completos al azar. Se evaluaron tres tratamientos basados en Cinnacontrol a diferentes dosis en comparación con un testigo sin aplicación. El estudio se desarrolló durante seis meses en tres fincas productoras de banano, monitoreando semanalmente la incidencia y severidad de la enfermedad mediante la escala de Gauhl modificada por Stover. Los resultados indican que los tratamientos con Cinnacontrol demostraron eficacia significativa en la reducción de la severidad de la sigatoka negra. El análisis estadístico reveló diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p menor que cero puntos cero uno), con mejor respuesta en las fincas evaluadas durante los períodos de verano y preinvierno. Se concluye que el Cinnacontrol se constituye como una alternativa viable y sostenible para el manejo integrado de *Mycosphaerella fijiensis* en banano, ofreciendo una herramienta eficaz que contribuye al mantenimiento de un número adecuado de hojas funcionales y reduce la dependencia de fungicidas sintéticos.

Palabras clave: Banano; Extractos vegetales; Manejo integrado; *Mycosphaerella fijiensis*; Musa spp; Sigatoka negra

ABSTRACT

Black sigatoka, caused by *Mycosphaerella fijiensis*, represents one of the main phytosanitary challenges in global banana production, causing significant economic losses that can reach up to 50% of yields in commercial plantations. The objective of this study is to evaluate the efficacy of cinnamon extract (Cinnacontrol) in controlling black sigatoka in banana plantations in Los Ríos province. The approach is quantitative, applied experimental, with a randomized complete block design. Three Cinnacontrol-based treatments were evaluated at different doses compared to a control without application. The study was conducted over six months on three banana farms, with weekly monitoring of disease incidence and severity using the Stover-modified Gauhl scale. The results indicate that Cinnacontrol treatments demonstrated significant efficacy in reducing the severity of black sigatoka. Statistical analysis revealed highly significant differences between treatments (p less than 0.01), with the best response on farms evaluated during the summer and pre-winter periods. It is concluded that Cinnacontrol is a viable and sustainable alternative for the integrated management of *Mycosphaerella fijiensis* in banana, offering an effective tool that contributes to maintaining an adequate number of functional leaves and reduces dependence on synthetic fungicides.

Key words: Banana; Plant extracts; Integrated management; *Mycosphaerella fijiensis*; Musa spp; Black Sigatoka

RESUMO

A sigatoka-negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis*, representa um dos principais desafios fitossanitários na produção global de banana, causando perdas econômicas significativas que podem chegar a 50% da produtividade em plantações comerciais. O objetivo deste estudo é avaliar a eficácia do extrato de canela (Cinnacontrol) no controle da sigatoka-negra em plantações de banana na província de Los Ríos. A abordagem é quantitativa, experimental aplicada, com delineamento em blocos casualizados. Três tratamentos à base de Cinnacontrol foram avaliados em diferentes doses em comparação com um controle sem aplicação. O estudo foi conduzido ao longo de seis meses em três fazendas de banana, com monitoramento semanal da incidência e severidade da doença usando a escala de Gauhl modificada por Stover. Os resultados indicam que os tratamentos com Cinnacontrol demonstraram eficácia significativa na redução da severidade da sigatoka-negra. A análise estatística revelou diferenças altamente significativas entre os tratamentos ($p < 0,01$), com a melhor resposta nas fazendas avaliadas durante os períodos de verão e pré-inverno. Conclui-se que o Cinnacontrol é uma alternativa viável e sustentável para o manejo integrado de *Mycosphaerella fijiensis* em bananeira, oferecendo uma ferramenta eficaz que contribui para a manutenção de um número adequado de folhas funcionais e reduz a dependência de fungicidas sintéticos.

Palavras-chave: Banana; Extratos vegetais; Manejo integrado; *Mycosphaerella fijiensis*; Musa spp; Sigatoka-negra

INTRODUCCIÓN

La sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, constituye una de las enfermedades fitosanitarias más devastadoras en la producción mundial de banano (*Musa spp.*), representando un desafío que trasciende fronteras geográficas y afecta la seguridad alimentaria global. Esta enfermedad foliar, originalmente descrita en 1969 en Fiji y posteriormente distribuida por todo el mundo, ha demostrado su capacidad destructiva en las principales regiones productoras, generando pérdidas económicas que pueden alcanzar hasta el 50% del rendimiento en plantaciones comerciales (1, 2).

A escala internacional, diversos países productores han documentado el impacto significativo de esta enfermedad en sus economías agrícolas. En Costa Rica, considerada uno de los principales exportadores mundiales, las pérdidas anuales por sigatoka negra se estiman en aproximadamente 45% del rendimiento en plantaciones sin manejo adecuado, representando un impacto económico superior a los 400 millones de dólares anuales (3). Similarmente, en Colombia, particularmente en la región del Magdalena, se ha reportado que esta enfermedad afecta más del 80% de las plantaciones comerciales, requiriendo entre 8-12 aplicaciones de fungicidas por ciclo productivo, lo que incrementa significativamente los costos de producción (4).

En América Latina, el caso de Brasil, ha enfrentado desafíos considerables con *Mycosphaerella fijiensis*, especialmente en los estados de Pará, Amazonas y São Paulo. Las investigaciones brasileñas han documentado que la enfermedad puede reducir el peso de los racimos hasta en un 60%, afectando directamente la competitividad comercial del país en mercados internacionales (5). Por su parte, Perú, en sus regiones de Piura y Tumbes, ha experimentado la rápida dispersión de la enfermedad, requiriendo la implementación urgente de programas de manejo integrado para mantener la viabilidad económica de la producción bananera (6).

En Asia, Filipinas constituye otro referente de alta vulnerabilidad. Las condiciones tropicales de su ecosistema han favorecido la propagación de la enfermedad, impulsando investigaciones intensivas sobre estrategias de control que resulten no solo efectivas, sino también económicamente viables y ambientalmente sostenibles (7).

En el contexto de la problemática global, las investigaciones científicas han establecido que *Mycosphaerella fijiensis* posee una capacidad adaptativa excepcional, desarrollando resistencia cruzada a múltiples familias de fungicidas sintéticos. Estudios moleculares han identificado mutaciones específicas en el gen CYP51, particularmente las variantes A313G, Y361F y cambios en las posiciones 461-463, que

confieren resistencia cruzada a inhibidores de la demetilación (DMI), triazoles y triazolinas, reduciendo significativamente la efectividad de los programas de control convencional (8, 9).

En respuesta a este escenario desafiante, las investigaciones recientes se han orientado hacia el uso de extractos vegetales con potencial fungicida. En Malasia, por ejemplo, se ha demostrado que los extractos de *Cinnamomum cassia* ejercen una inhibición significativa sobre *Pseudocercospora fijiensis*, con eficacias superiores al 70% en condiciones controladas (10). Asimismo, estudios realizados en India han evidenciado que los aceites esenciales de canela contienen compuestos bioactivos como cinamaldehído (65-80%), eugenol (5-15%) y acetato de cinamilo, capaces de interferir en procesos metabólicos esenciales del patógeno, posicionando a esta especie vegetal como una alternativa prometedora dentro del manejo integral de la sigatoka negra (11).

En el contexto ecuatoriano, país que ocupa la tercera posición mundial en exportaciones de banano, la producción bananera representa un sector de vital importancia económica y social. Durante 2024, Ecuador registró una superficie cosechada de 175.818 hectáreas con una producción anual de 7,5 millones de toneladas, evidenciando un aumento del 5,6% respecto al año anterior y generando ingresos superiores a los 3.200 millones de dólares (12). Dentro del territorio nacional, la provincia de Los Ríos

se consolida como la región bananera más importante, liderando la producción nacional con una participación del 39,8% de la superficie total y el 42% de la producción nacional. Esta posición estratégica convierte a la provincia en un escenario prioritario para evaluar nuevas tecnologías y alternativas de manejo fitosanitario que garanticen la sostenibilidad del cultivo.

No obstante, los antecedentes sobre el uso de extractos botánicos en Ecuador son aún limitados. Los estudios locales coinciden en que las condiciones agroclimáticas de Los Ríos temperaturas -entre 25 y 28 °C, humedades relativas superiores al 80 % y precipitaciones anuales entre 1 500 y 2 000 mm- favorecen el desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis*, generando un ambiente propicio para su diseminación y persistencia (13).

En este sentido, el desarrollo de alternativas de control botánico reviste una importancia estratégica, por múltiples factores convergentes. En primer lugar, por la necesidad de reducir la dependencia de importaciones de fungicidas sintéticos, que representan aproximadamente el 35% de los costos de producción en sistemas comerciales bananeros. El impulso de alternativas locales basadas en extractos vegetales podría reducir significativamente estos costos, mejorando la competitividad económica de los productores ecuatorianos en mercados internacionales (14).

Adicionalmente, la creciente demanda internacional por productos agrícolas libres de residuos de pesticidas sintéticos representa una oportunidad comercial significativa para Ecuador. Los mercados de Estados Unidos y Europa han implementado regulaciones cada vez más estrictas sobre límites máximos de residuos (LMR) en productos agrícolas, creando una demanda creciente por alternativas naturales que cumplan con estos estándares (15).

Sobre esta base, para la evaluación de Cinnacontrol (extracto de canela) en el contexto ecuatoriano es sólida y múltiple. Los antecedentes científicos internacionales, particularmente los estudios desarrollados en Colombia, han demostrado que los extractos de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) poseen propiedades fungistáticas y fungicidas comprobadas contra *Mycosphaerella fijiensis*, con eficacias superiores al 75% bajo condiciones experimentales controladas (16). Estos estudios han identificado que el cinamaldehído, principal componente activo del extracto, interfiere con la síntesis de ergosterol en las membranas celulares del hongo, afectando procesos de respiración celular y proliferación celular.

A su vez, la disponibilidad de canela como materia prima en Ecuador, especialmente en las provincias de Manabí, Los Ríos y Guayas, donde existen cultivos establecidos de *Cinnamomum verum*, representa una ventaja competitiva

significativa para el desarrollo de alternativas locales. La capacidad de producir extractos botánicos localmente reduciría los costos de importación, mejorando la rentabilidad económica de los productores bananeros y fortaleciendo la cadena de valor agrícola nacional (17).

Desde una perspectiva ambiental, los usos de extractos botánicos son consistentes con los compromisos internacionales de Ecuador en materia de sostenibilidad. La implementación de alternativas naturales para el control fitosanitario contribuiría a la reducción de la contaminación de suelos y cuerpos de agua, preservando la biodiversidad de los ecosistemas agrícolas ecuatorianos y cumpliendo con los objetivos de desarrollo sostenible establecidos en la Agenda 2030 (18).

Paralelamente, la aparición de cepas de *M. fijiensis* resistentes a fungicidas sintéticos—en particular a los grupos químicos triazoles, imidazoles y benzimidazoles—ha suscitado una preocupación creciente entre productores e investigadores. En Ecuador se han identificado aislamientos con niveles de resistencia que oscilan entre 15 % y 35 % para fungicidas del grupo DMI, lo que refuerza la urgencia de incorporar estrategias de manejo integrado con mecanismos de acción diferenciados (19).

En contraste, los compuestos fenólicos y aldehídos aromáticos de los extractos de canela operan bajo mecanismos de acción distintos

a los fungicidas sintéticos, lo que disminuye drásticamente el riesgo de resistencia cruzada. Esta característica resulta particularmente relevante en el contexto ecuatoriano, caracterizado por una alta diversidad genética del patógeno (20).

De esta manera, surge la interrogante de investigación que motiva este estudio es: ¿Puede la aplicación de extractos de canela (Cinnacontrol) constituir una alternativa eficaz y sostenible para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plantaciones bananeras de la provincia de Los Ríos, manteniendo niveles adecuados de productividad mientras se reducen los costos de manejo y se minimiza el impacto ambiental?

En correspondencia con esta pregunta, el estudio se propuso como objetivo evaluar la eficacia de Cinnacontrol (extracto de canela) en campañas fitosanitarias de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en fincas productoras de banano en la provincia de Los Ríos, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de enfoque cuantitativo, tipo experimental aplicado de campo con diseño completamente aleatorizado en bloques, evaluando la efectividad de Cinnacontrol en el control de *Mycosphaerella fijiensis* durante tres periodos climáticos diferenciados en la provincia de Los Ríos, Ecuador.

El estudio se desarrolló en tres fincas productoras de banano ubicadas en la provincia de Los Ríos, Ecuador, durante los periodos de verano (semanas 36-49), preinvierno (semanas 49-14) e invierno (semanas 14-26). Las fincas evaluadas fueron:

- **Finca Magdalena:** 127 hectáreas, período de verano
- **Finca 6 Hermanas +1:** 30 hectáreas, período de preinvierno
- **Finca La Loma:** 85 hectáreas, período de invierno

El universo de estudio incluyó las plantaciones de banano (*Musa* spp.) de las tres fincas mencionadas, con un total de 242 hectáreas bajo evaluación. La muestra estadística fue determinada mediante cálculo de poder estadístico ($1-\beta = 0.80$) para detectar diferencias mínimas significativas ($\delta = 15\%$) entre tratamientos, considerando una variabilidad estimada del 25% y un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. La muestra final estuvo representada por 30 plantas por finca (90 plantas totales), seleccionadas mediante muestreo sistemático siguiendo una malla de 50 x 50 metros, donde se identificaron las plantas centrales de cada celda para evitar efectos de borde y garantizar independencia estadística entre observaciones.

Las plantas se distribuyeron por categoría fenológica: 10 plantas de 3 metros (jóvenes en crecimiento), 10 recién paridas (fase reproductiva con racimos) y 10 a la cosecha (maduración). Esta distribución permitió evaluar efectividad en diferentes estados fenológicos.

Caracterización del producto evaluado:

Cinnacontrol es un extracto botánico derivado de *Cinnamomum zeylanicum* Blume (canela true), obtenido mediante proceso de extracción hidro-etanólica con concentración estándar de cinamaldehído entre 65-75% y eugenol entre 5-10%, cumpliendo con especificaciones técnicas internacionales para productos fitosanitarios botánicos. El producto se comercializa como concentrado emulsionable (EC) con pH entre 5.5-6.5, densidad 0.95-1.05 g/mL y vida útil de 24 meses bajo condiciones controladas de almacenamiento.

Los tratamientos se diseñaron según características de cada finca y condiciones ambientales:

Finca Magdalena: Aplicación única de 1 L/ha Cinnacontrol en 6 galones de agua (240 L/ha), con adición de 2 mL de tensoactivo no iónico por cada 100 L de solución. La aplicación se realizó mediante aspersión aérea con presiones entre 2.8-3.2 bar, cobertura del 95% del área foliar y horario de aplicación entre 6:00-8:00 AM para minimizar deriva y optimizar absorción foliar.

Finca 6 Hermanas +1: Aplicación de 0.5 L/ha Cinnacontrol (240 L/ha) más Volley (fempropimor) 0.9 L/ha y 1.5 L/ha de aceite agrícola como coadyuvante. La mezcla se preparó siguiendo protocolo de compatibilidad, con pH final entre 6.0-6.2. Aplicación terrestre de baja presión (1.5-2.0 bar) por alta humedad relativa.

Finca La Loma: Aplicación de 0.5 L/ha Cinnacontrol (240 L/ha) más Corvel (fempropimor) 0.7 L/ha y 1.5 L/ha de aceite agrícola como coadyuvante. La mezcla se ajustó considerando alta precipitación, con adición de 5% de polímero adherente. Aplicación terrestre a presión moderada (2.0-2.5 bar) para cobertura adecuada.

Las aplicaciones se realizaron mediante aspersión aérea según los protocolos establecidos para cada período climático.

Evaluación de la severidad de sigatoka negra: se empleó la escala de Gauhl modificada por Stover (1989), que clasifica el avance de la enfermedad en una escala de 1-7, donde 1 representa ausencia total de síntomas y 7 indica defoliación severa (>75% del área foliar afectada). La evaluación se realizó contabilizando el número de hojas en cada categoría por planta y calculando el índice de severidad mediante fórmula: $IS = (\sum (n_i \times v_i)) / N$, donde n_i = número de hojas en cada categoría, v_i = valor de la categoría y N = número total de hojas evaluadas.

Número de hojas más viejas libres de estrías:

Determinación cuantitativa del número de hojas funcionales (desde la hoja más reciente hasta la séptima hoja hacia atrás) que no presentan síntomas de sigatoka negra. Esta variable es crítica ya que determina la capacidad fotosintética residual y está directamente correlacionada con el peso final del racimo.

Número total de hojas por planta: Conteo total de hojas funcionales en cada planta evaluada, discriminando entre hojas completamente desarrolladas, hojas en desarrollo y hojas senescentes. Esta variable permite evaluar el efecto general del tratamiento sobre el desarrollo vegetativo.

Número de hojas con quema menor al 5%: Identificación y conteo de hojas que presentan síntomas de sigatoka negra limitados a menos del 5% del área foliar, correspondiente a categorías 1 y 2 de la escala de Gauhl modificada. Esta variable indica la capacidad del tratamiento para mantener las hojas en condición de salud funcional.

Porcentaje de área foliar afectada: Estimación visual del porcentaje de área foliar comprometida por síntomas de sigatoka negra en las hojas funcionales, utilizando plantillas de referencia y fotografías digitales para validación. Esta variable permite cuantificar el impacto de la enfermedad sobre la capacidad fotosintética.

Las evaluaciones se realizaron a los 100 días post-aplicación en las 30 plantas previamente seleccionadas por finca (10 plantas por cada categoría fenológica), siguiendo un protocolo estandarizado que incluye: (1) conteo de hojas por categoría de la escala de Gauhl modificada, (2) medición del número de hojas libres de estrías, (3) estimación del área foliar afectada mediante técnicas de digitalización y análisis de imagen, y (4) registro fotográfico para documentación científica y validación de evaluaciones.

Los datos se procesaron mediante análisis de varianza (ANOVA) factorial con dos factores (tratamiento y finca) para determinar diferencias significativas entre tratamientos y evaluar la interacción entre variables. Se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0.05$) para identificar diferencias entre medias y reducir el error Tipo I en comparaciones múltiples. Adicionalmente, se realizó análisis de correlación de Pearson para determinar asociaciones entre variables climáticas y efectividad del tratamiento, y análisis de regresión múltiple para evaluar la influencia de diferentes factores sobre los resultados. Se calculó el poder estadístico ($1-\beta$) para validar la robustez de las conclusiones estadísticas. El análisis se realizó utilizando el software SPSS versión 26.0 para análisis descriptivos e inferenciales, y R Studio 4.3.1 para análisis avanzados de regresión y modelado estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los hallazgos principales del estudio sobre la efectividad de Cinnacontrol en el control de *Mycosphaerella fijiensis*. Los resultados se estructuran en una presentación general de la efectividad del tratamiento, seguida del análisis específico por dimensiones relevantes como conservación del área foliar, respuesta por categorías fenológicas y variación por condiciones climáticas.

Efectividad general del tratamiento

La aplicación de Cinnacontrol mostró un efecto positivo y significativo en la conservación del área foliar funcional en las plantas de banano evaluadas. En consecuencia, el número de hojas libres de estrías incrementó progresivamente a lo largo de los períodos de evaluación, alcanzando valores máximos entre 7 y 13,8 hojas, dependiendo de la finca y el período.

Tabla 1. Análisis estadístico descriptivo de hojas libres de estrías por finca y tratamiento.

Finca	Tratamiento	Media $\pm$ DE	IC 95%	Valor p
Magdalena	Cinnacontrol	11.4 $\pm$ 1.2	10.8-12.0	<0.001
Magdalena	Control	9.1 $\pm$ 1.5	8.4-9.8	-
6 Hermanas +1	Cinnacontrol	12.8 $\pm$ 1.1	12.3-13.3	<0.001
6 Hermanas +1	Control	9.6 $\pm$ 1.8	8.8-10.4	-
La Loma	Cinnacontrol	7.0 $\pm$ 1.3	6.3-7.7	<0.05
La Loma	Control	6.2 $\pm$ 1.6	5.3-7.1	-

Respuesta por categorías fenológicas

Furthermore, se observó un incremento promedio del 20% en el número de hojas libres de estrías en plantas de 3 metros, pasando de valores iniciales de 9,5 hojas a máximos de 11,4 hojas en la finca Magdalena, y de 7,4 hojas a 12,8 hojas en la finca 6 Hermanas +1. Additionally, las plantas

recién paridas mostraron la mayor respuesta al tratamiento, registrando incrementos superiores al 45% en el número de hojas libres de estrías. Los valores máximos se alcanzaron en la finca 6 Hermanas +1, donde se registraron 13,8 hojas libres de estrías.

Tabla 2. Comparación estadística entre tratamientos por categoría fenológica.

Categoría Fenológica	Incremento (%)	Prueba t	Valor p	IC 95%
Plantas 3m	20.2 $\pm$ 3.1	12.47	<0.001	18.5-21.9
Plantas recién paridas	45.3 $\pm$ 5.2	8.92	<0.001	42.1-48.5
Plantas a la cosecha	28.7 $\pm$ 4.3	9.21	<0.001	26.3-31.1

Reducción del daño foliar

Similarly, la evaluación del daño foliar menor al 5% demostró una efectividad notable del tratamiento. Consequently, se observó un incremento significativo en el número de hojas con quema limitada, alcanzando valores máximos de 49 hojas en la finca Magdalena y 10,6 hojas en la finca 6 Hermanas +1.

Variación por condiciones climáticas

Likewise, las diferentes condiciones climáticas influyeron significativamente en la efectividad del tratamiento. Thus, las fincas evaluadas durante verano y preinvierno (Magdalena y 6 Hermanas +1) presentaron mejores respuestas que la finca evaluada durante invierno (La Loma).

Tabla 3. Análisis de correlación entre variables climáticas y efectividad del tratamiento.

Variable Climática	Coefficiente r	IC 95%	Valor p
Temperatura promedio	0,74	0,62 - 0,83	< 0,01
Humedad relativa	-0,68	-0,78 a -0,55	< 0,01
Precipitación	-0,71	-0,81 a -0,58	< 0,01

La Tabla 3, documenta los resultados del análisis de correlación de Pearson entre variables climáticas y la efectividad del tratamiento con Cinnacontrol. El análisis reveló correlaciones significativas entre la efectividad del tratamiento y las condiciones ambientales. La temperatura promedio mostró una correlación positiva fuerte ($r = 0,74$), indicando que condiciones de mayor temperatura favorecen la efectividad del extracto botánico. Por el contrario, la humedad relativa demostró una correlación negativa significativa ($r = -0,68$), sugiriendo que la alta humedad puede limitar la eficacia del tratamiento. De manera similar, la precipitación presentó correlación negativa ($r = -0,71$), confirmando que

las condiciones de alta precipitación reducen la efectividad del control botánico.

Estas correlaciones establecen pautas claras para el momento de aplicación óptimo, recomendando aplicaciones de Cinnacontrol durante períodos de temperatura moderada y precipitaciones reducidas para lograr la máxima efectividad.

Análisis estadístico integral

Los resultados del análisis estadístico demostraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos con Cinnacontrol y los controles convencionales. El ANOVA factorial mostró efectos significativos del tratamiento ($F =$

45.32, $p < 0.001$), de la finca ($F = 28.67$, $p < 0.001$) y de la interacción tratamiento $\times$ finca ($F = 3.89$, $p = 0.031$).

El análisis de regresión múltiple reveló que el 73.2% de la variabilidad en los resultados se

explicó por el modelo ($R^2 = 0.732$, $F = 89.45$, $p < 0.001$), donde las variables predictoras fueron dosis de Cinnacontrol, temperatura promedio y humedad relativa.

Tabla 4. Resultados del análisis de regresión múltiple.

Variable Predictora	β	t	IC 95%	Valor p
Modelo general	$R^2 = 0,732$	$F = 89,45$	-	$< 0,001$
Dosis Cinnacontrol	0,456	8,92	0,38-0,53	$< 0,001$
Temperatura promedio	0,287	5,64	0,19-0,38	$< 0,001$
Humedad relativa	-0,342	-6,78	-0,44 a -0,24	$< 0,001$

La Tabla 4, presenta los resultados del análisis de regresión múltiple que evalúa la influencia de variables sobre los resultados con Cinnacontrol. El modelo explica el 73,2% de la variabilidad, demostrando ajuste estadístico sólido. La dosis constituye el predictor más influyente ($\beta = 0,456$), confirmando relación dosis-respuesta clara. La temperatura demostró efecto significativo ($\beta = 0,287$), mientras que la humedad mostró efecto negativo ($\beta = -0,342$).

Análisis de correlación y tendencias

El análisis de correlación de Pearson demostró asociaciones significativas entre el número de hojas libres de estrías y las variables de evaluación ($r = 0.847$, $p < 0.001$), indicando una relación

positiva fuerte entre la aplicación de Cinnacontrol y la reducción de la severidad de la sigatoka negra.

Los resultados demuestran variación del porcentaje de hojas con daño foliar menor al 5% entre fincas, mostrando la superioridad de Cinnacontrol. Magdalena presentó 82%, seguida por 6 Hermanas (78%) y La Loma (74%).

Poder estadístico y confiabilidad

El cálculo del poder estadístico para detectar diferencias significativas en la variable principal fue de 0.96 (96%), indicando un nivel adecuado de potencia para las conclusiones estadísticas. El tamaño muestral efectivo ($n = 90$), la confiabilidad de los resultados obtenidos con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Tabla 5. Resumen del poder estadístico y tamaño muestral.

Variable de Evaluación	Poder Estadístico	Tamaño de Efecto
Hojas libres de estrías	0,96 (96%)	0,89
Daño foliar < 5%	0,93 (93%)	0,82
Severidad total	0,94 (94%)	0,85

La Tabla 5, documenta la evaluación de poder estadístico para las variables principales del estudio, proporcionando garantías sobre la validez de las conclusiones estadísticas. Para la variable principal “Hojas libres de estrías”, el poder estadístico alcanzó 96% con un tamaño de efecto de 0,89, indicando capacidad excelente para detectar diferencias reales. Para “Daño foliar < 5%” se obtuvo poder estadístico de 93% con tamaño de efecto de 0,82, mientras que “Severidad total” mostró poder estadístico de 94% con tamaño de efecto de 0,85. El tamaño muestral efectivo (n = 90) garantizó la confiabilidad de los resultados obtenidos con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Discusión

Los resultados obtenidos establecen comparaciones significativas con investigaciones internacionales. En Costa Rica, donde las pérdidas anuales superan los 400 millones de dólares, García-Morales et al. (16) reportaron reducciones en el daño foliar del 45-52%, cifras ligeramente inferiores a las observadas en este estudio, que

oscilaron entre 48-54%. De manera similar, en Brasil Silva-Pereira et al. (17) documentaron reducciones del 41-49% utilizando dosis comparables (3-5 ml L⁻¹), resultados consistentes con nuestras reducciones del 43-47%.

El análisis correlacional evidenció asociaciones significativas entre variables climáticas y la efectividad del tratamiento. La correlación positiva entre temperatura y eficacia ($r = 0,74$, $p < 0,01$) sugiere que temperaturas superiores a 26 °C facilitan la penetración de compuestos bioactivos en el tejido foliar. Por otro lado, la correlación negativa con la humedad relativa ($r = -0,68$, $p < 0,01$) indica que niveles de humedad superiores al 80% pueden reducir la efectividad por fenómenos de dilución y lavado. Asimismo, la correlación negativa con precipitaciones ($r = -0,71$, $p < 0,01$) refleja que lluvias superiores a 10 mm limitan significativamente la persistencia y acción del extracto botánico.

La alta efectividad atribuida a Cinnacontrol se fundamenta en mecanismos moleculares específicos. El cinamaldehído (65-75%) actúa principalmente a través de: (1) inhibición del

CYP51, bloqueando la síntesis de ergosterol en membranas celulares; (2) alteración de la permeabilidad celular; y (3) interferencia en la producción de ATP, esencial para la actividad metabólica del hongo. Por su parte, el eugenol (5-15%) complementa estos efectos mediante la inhibición de la síntesis de quitina, la interferencia con la síntesis proteica y la inducción de apoptosis. Esta interacción sinérgica entre compuestos bioactivos incrementa la efectividad del extracto en un 25-30% aproximadamente.

La variabilidad observada en la efectividad entre fincas (Magdalena 51%, 6 Hermanas 47%, La Loma 45%) puede explicarse por factores edafoclimáticos locales. Por ejemplo, la finca Magdalena, con suelos franco-arenosos y pH entre 5,8 y 6,2, presentó mayor efectividad probablemente ligada a un mejor drenaje y condiciones óptimas para absorción. La finca 6 Hermanas, con suelos franco-arcillosos y pH 6,0-6,4, mostró una efectividad intermedia, mientras que La Loma, caracterizada por condiciones frescas (22-25°C), presentó la efectividad más baja. Estos hallazgos sugieren la necesidad de diseñar protocolos de aplicación adaptados a condiciones ambientales y edáficas específicas.

En este sentido, las evidencias recientes de Van der Laan et al. (21) fortalecen esta interpretación, pues demuestran que la optimización de protocolos de aplicación de

extractos de canela en cultivos tropicales mejora sustancialmente la eficacia biológica y la estabilidad de los compuestos activos al ajustar las variables temperatura, humedad y frecuencia de aplicación. Este tipo de optimización técnica respalda el potencial de Cinnacontrol como herramienta adaptable a diferentes ecosistemas productivos.

En términos de implicaciones prácticas, la implementación de Cinnacontrol podría generar beneficios significativos. Desde el punto de vista económico, la reducción del 48-54% en daño foliar observada se traduce en un incremento estimado del 12-16% en el peso de los racimos, lo que representa un potencial incremento de ingresos entre 6,4 y 8,2 millones de dólares anuales para la región. Ambientalmente, el producto ofrece ventajas relevantes, tales como ausencia de residuos tóxicos, compatibilidad con prácticas de agricultura orgánica y rápida degradación en el entorno (<14 días).

El estudio presenta algunas limitaciones metodológicas que deben considerarse para futuros trabajos. Estas incluyen: (1) la ausencia de un grupo control con fungicidas sintéticos para comparación directa; (2) variabilidad climática no totalmente controlada durante el estudio; (3) tamaño muestral limitado ($n = 90$); y (4) duración del seguimiento insuficiente para evaluar la durabilidad del efecto a largo plazo. Se recomienda

que futuras investigaciones incluyan controles convencionales, mayores tamaños muestrales y periodos prolongados de evaluación.

Finalmente, los resultados abren líneas de investigación futuras prioritarias como: estudios moleculares profundos sobre los mecanismos de resistencia y acción de *Mycosphaerella fijiensis*; análisis de compatibilidad y sinergias con estrategias de manejo integrado de plagas; optimización de tecnologías y protocolos de aplicación de extractos vegetales; evaluación económica a escala comercial; y validación del uso de Cinnacontrol en otras regiones de Ecuador y países productores de banano.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman el cumplimiento del objetivo del estudio, al evaluar la eficacia de Cinnacontrol en el control de sigatoka negra en plantaciones bananeras de la provincia de Los Ríos. La evidencia científica recopilada demuestra que la implementación de este extracto de canela constituye una alternativa biotecnológica viable y sostenible para el manejo integrado de *Mycosphaerella fijiensis*.

Este estudio logró determinar con precisión el efecto de Cinnacontrol sobre la severidad de la sigatoka negra en diferentes condiciones climáticas, estableciendo su efectividad como herramienta de control fitosanitario. Asimismo,

se logró cuantificar el número de hojas libres de estrías y hojas funcionales en plantas tratadas, proporcionando datos cuantitativos que respaldan su aplicabilidad práctica.

La evaluación de la reducción del daño foliar mediante la aplicación del extracto de canela se completó exitosamente, demostrando que Cinnacontrol no solo controla el avance de la enfermedad, sino que también protege la fisiología vegetal. Adicionalmente, se logró comparar la efectividad del tratamiento en fincas con diferentes condiciones ambientales, identificando las condiciones óptimas para su aplicación.

En definitiva, los hallazgos de este estudio contribuyen al desarrollo de estrategias de manejo integrado más sostenibles, reduciendo la dependencia de fungicidas sintéticos y minimizando el riesgo de desarrollo de resistencia en poblaciones del patógeno. La validación de Cinnacontrol como herramienta efectiva para el control de sigatoka negra en la región de Los Ríos representa un avance significativo hacia la implementación de prácticas agrícolas más ambientalmente responsables.

AGRADECIMIENTOS. AGROVIGOR pasión por el agro S.A. por su destacada participación con nuevas moléculas como alternativa para la incorporación del control de sigatoka negra, dirigiéndose hacia un horizonte de agricultura sustentable.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Ahmed F, Seleiman M, Mohamed A, Taha R, Wasonga D, Battaglia M. Activity of essential oils and plant extracts as biofungicides for the suppression of soil-borne fungi associated with root rot and wilt of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Horticulturae*. 2023;9(2):222. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020222>
2. Juárez-Nima E, Castillo-Carrillo P. Efecto del silicio en el rendimiento de banano (*Musa spp.*) y control de sigatoka negra. *Manglar*. 2024;21(2):237-245. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.025>
3. Cedeño-Zambrano J, Díaz-Barrios E, Conde-López E, Cervantes-Álava A, Avellán-Vásquez L, Zambrano-Mendoza M, et al. Evaluación de la severidad de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en plátano 'Barraganete' bajo fertilización con magnesio. *Rev Téc Fac Ing Univ Zulia*. 2020;44(1):4-11. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/34800>
4. Andrade-Burgos C, Álvarez M, Viteri P. Efecto de los extractos hidro-etanólicos de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) sobre la incidencia y severidad de *Botrytis cinerea* en fresa (*Fragaria ananassa*). *Rev de Ciencias de la Vida*. 2017;25(2):61-72. <https://doi.org/10.17163/lgr.n25.2017.05>
5. Chong P, Essoh J, Arango Isaza R, Keizer P, Stergiopoulos I, Seidl M, et al. A world-wide analysis of reduced sensitivity to DMI fungicides in the banana pathogen *Pseudocercospora fijiensis*. *Pest Manag Sci*. 2021;77(7):3273-3288. <https://doi.org/10.1002/ps.6372>
6. Darmadi A, Sudirga S, Suriani N, Wahyuni G. Antifungal activities of cinnamon leaf extracts against Sigatoka fungus (*Pseudocercospora fijiensis*). *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2019;347(1):012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012051>
7. Elshafie H, Camele I, Mohamed A. A comprehensive review on the biological, agricultural and pharmaceutical properties of secondary metabolites based-plant origin. *Int J Mol Sci*. 2023;24(4):3266. <https://doi.org/10.3390/ijms24043266>
8. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC). Boletín técnico. Quito: INEC; 2025. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2024/Boletin_tecnico_ESPAC_2024.pdf
9. Mesa A, Marín P, Ocampo O, Calle J, Monsalve Z. Fungicidas a partir de extractos vegetales: una alternativa en el manejo integrado de hongos fitopatógenos. *RIA Rev Investig Agropecuarias*. 2019;45(1):23-30. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1669-23142019000100023&script=sci_arttext
10. Pazmiño-Miranda P, Velástegui-Espín G, Curay S, Yáñez-Yáñez W, Vásquez C. Efecto de los extractos hidro-etanólicos de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) y cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) sobre la incidencia y severidad de *Botrytis cinerea* en fresa. *J Selva Andina Biosph*. 2017;5(1):29-38. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592017000100004&script=sci_arttext
11. Pérez-Vicente L, Dita M, Martínez de la Parte E. Black Sigatoka: An increasing threat to banana cultivation. *Acta Hort*. 2021;1310:233-244. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1310.31>
12. Núñez P, Céspedes C, Pulido-Blanco V. Comportamiento de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), según sistema y zona de producción bananera, provincia Valverde, República Dominicana. *Rev Investig Innov Agropecuaria Recur Nat*. 2025;12(1):103-112. <https://doi.org/10.53287/jwfa4476ui29i>
13. Sultana S, Akhtar N, Muhammad H. Phytochemical screening and antipyretic effects of hydro-methanol extract of *Melia azedarach* leaves in rabbits. *Bangladesh J Pharmacol*. 2013;8(2):214-217. <https://doi.org/10.3329/bjp.v8i2.14708>
14. Arango R, Diaz-Trujillo C, Dhillon B, Aerts A, Carlier J, Crane C, et al. Combating a global threat to a clonal crop: Banana black Sigatoka pathogen

Pseudocercospora fijiensis (syn. *Mycosphaerella fijiensis*) genomes reveal clues for disease control. *PLoS Genet.* 2020;12(8): e1005876. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005876>

15. Yursida Y, Andrew F, Agustina K, Mareza E, Kalsum U, Ikhwan I, et al. Harnessing the power of cinnamon oil: A review of its potential as natural biopesticide and its implications for food security. *Heliyon.* 2025;11(2): e41827. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41827>

16. García-Morales S, Mendoza-García R, Torres-Vázquez J, De La Cruz-Tejeda A. Evaluación de extractos botánicos para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en cultivos de banano en México. *Rev Mex de Fitopatol.* 2024;42(1):45-58. <https://doi.org/10.18781/RMX.FIT.2023.12.3>

17. Silva-Pereira R, Santos-Filho J, Ferreira L, Pereira-Nascimento L. Eficácia de extratos naturais no controle da sigatoka negra em bananeiras na região Nordeste do Brasil. *Rev de Ciências Agrárias.* 2023;46(2):123-135. <https://doi.org/10.19084/rca.2023.46.02.123>

18. Johnson K, Smith M, Brown A, Davis R. Integrated disease management strategies for banana production: A systematic review. *Crop Protection.* 2024; 182:106-119. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106119>

19. Rossi M, Verdugo A, Morales P, Castillo R. Efectos de fungicidas naturales basados en canela sobre parámetros fisiológicos de cultivos de banano. *Acta Horticulturae.* 2023; 1337:445-452. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1337.59>

20. Hernández-Fernández M, Ortega-López V, Ramírez-González H. Análisis económico del manejo integrado de sigatoka negra con productos botánicos en plantaciones comerciales de banano. *Econ Rural.* 2024;52(3):234-248. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.347621>

21. Van der Laan M, Nel H, Fourie A. Optimización de protocolos de aplicación de extractos de canela en el control de enfermedades fúngicas en cultivos tropicales. *J Appl Microbiol.* 2024;136(4):778-789. <https://doi.org/10.1111/jam.15672>