

Respuesta epidemiológica de la Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) a diferentes dosis de calcio foliar en banano (Musa AAA, subgrupo Cavendish) bajo condiciones comerciales de producción

*Epidemiological response of black sigatoka disease (*Pseudocercospora fijiensis*) to different foliar calcium rates in banana (Musa AAA, Cavendish Subgroup) under commercial production conditions*

¹ Jefferson Estuardo Reyes Coronel



<https://orcid.org/0009-0006-8047-0724>

Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Machala, Ecuador.

Maestría en Agronomía, mención Producción Vegetal

jreyes38@utmachala.edu.ec

² Luis Felipe Lata Tenesaca

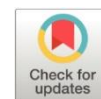


<https://orcid.org/0000-0002-6882-0035>

Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Machala, Ecuador.

Maestría en Agronomía, mención Producción Vegetal

llata1@utmachala.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 13/07/2026

Revisado: 10/08/2026

Aceptado: 03/09/2026

Publicado: 01/10/2026

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v9i4.3766>

Cítese:

Reyes Coronel, J. E., & Lata Tenesaca, L. F. (2026). Respuesta epidemiológica de la Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) a diferentes dosis de calcio foliar en banano (Musa AAA, subgrupo Cavendish) bajo condiciones comerciales de producción. *ConcienciaDigital*, 9(4), 43-58.

<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v9i4.3766>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad.

<https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons en la 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Palabras claves:

Banano; calcio;
nutrición mineral;
sigatoka negra;
sanidad vegetal

Resumen

Introducción. La Sigatoka negra, causada por *Pseudocercospora fijiensis*, reduce progresivamente el área foliar funcional del banano y constituye una limitante fitosanitaria importante. **Objetivo.** Evaluar la respuesta epidemiológica de la enfermedad a diferentes dosis de calcio (Ca) aplicadas vía foliar como complemento del manejo fitosanitario comercial. **Metodología.** Se estableció un DBCA con cinco tratamientos y cuatro bloques en una plantación comercial de banano en El Guabo, El Oro, Ecuador. Todas las unidades recibieron mancozeb a 1,4 kg ha y se diferenciaron por 0; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 L/ha de SOLEI CaO 20 μ . La enfermedad se evaluó durante 100 días mediante ocho evaluaciones quincenales. **Resultados.** En L8 se detectaron diferencias significativas para EE₃, EE₄, EE₅ y H+VLQ >5 %. EE₅ presentó la mayor magnitud de efecto ($\eta^2 = 0,160$). T3 (2,0 L/ha) registró el menor EE₅ (131,55), con una reducción de 9,31 % frente al testigo. **Conclusión.** La dosis de 2,0 L/ha mostró el mejor desempeño dentro del rango evaluado. El Ca debe considerarse una herramienta nutricional complementaria dentro del manejo integrado y no un sustituto del control fungicida. **Área de estudio general:** Ciencias agrícolas. **Área de estudio específica:** Fitopatología y epidemiología vegetal. **Tipo de estudio:** Artículo original.

Keywords:

Banana; black
sigatoka; calcium;
mineral nutrition;
plant health.

Abstract

Introduction. Black Sigatoka, caused by *Pseudocercospora fijiensis*, progressively reduces functional leaf area and is a major phytosanitary constraint in banana production. **Objective.** To evaluate the epidemiological response of the disease to different foliar calcium (Ca) rates used as a complement to commercial phytosanitary management. **Methodology.** A randomized complete block design with five treatments and four blocks was established in a commercial banana plantation in El Guabo, El Oro, Ecuador. All units received mancozeb at 1.4 kg/ha and differed in SOLEI CaO 20 μ rates of 0, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 L/ha. Disease dynamics were evaluated for 100 days through eight fortnightly assessments. **Results.** At L8, significant differences were detected for EE₃, EE₄, EE₅ and H+VLQ >5%. EE₅ showed the largest effect size ($\eta^2 = 0.160$). T3 (2.0 L/ha) recorded the lowest EE₅ (131.55), representing a 9.31% reduction relative to the control. **Conclusion.** The 2.0 L/ha rate showed the best performance within the evaluated range. Foliar

Ca should be considered a complementary nutritional tool within integrated management and not a substitute for fungicidal control.

General Area of Study: Agricultural Sciences. **Specific area of study:** Plant Pathology and Plant Epidemiology. **Type of study:** Original article.

1. Introducción

El banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish) constituye uno de los principales cultivos frutales de importancia económica para Ecuador. Entre las limitantes fitosanitarias de mayor relevancia se encuentra la Sigatoka negra, causada por *Pseudocercospora fijiensis*, cuya progresión deteriora el tejido foliar, reduce el área fotosintéticamente funcional y puede comprometer el desempeño productivo del cultivo (Carlier et al., 2024; Almeida et al., 2025). Por su carácter policíclico y su elevada presión epidémica en ambientes favorables, la enfermedad continúa demandando programas de manejo intensivos en las zonas bananeras comerciales (Carlier et al., 2024; Chong et al., 2024).

El manejo de *P. fijiensis* se sustenta principalmente en la integración de prácticas culturales y aplicaciones de fungicidas (Bakache et al., 2018). No obstante, el uso frecuente de estos productos ejerce presión de selección sobre las poblaciones del patógeno y se ha relacionado con disminuciones de sensibilidad a fungicidas, incluso en zonas productoras de Ecuador (Chong et al., 2021; Kimunye et al., 2021). Este escenario refuerza la necesidad de incorporar estrategias complementarias que contribuyan a sostener la funcionalidad del tejido foliar y la capacidad defensiva de la planta, sin plantearlas como sustitutos del control fitosanitario convencional.

En este contexto, la nutrición mineral puede influir en la interacción planta-patógeno al modificar propiedades estructurales y procesos fisiológicos de la planta. El calcio (Ca^{2+}) es particularmente relevante porque participa en la estabilidad de paredes y membranas celulares y, además, actúa como un componente central de las señales tempranas generadas frente a estímulos bióticos, regulando cascadas de señalización asociadas con la defensa vegetal (Negi et al., 2023; Patra et al., 2021). Estas funciones permiten plantear que un adecuado nivel nutricional de Ca puede favorecer tejidos estructuralmente más estables y una respuesta fisiológica más competente ante la infección. Esta interpretación, sin embargo, no implica que el Ca ejerza por sí mismo una acción fungicida directa sobre *P. fijiensis* (Negi et al., 2023; Narwal et al., 2024).

Desde esta perspectiva, la aplicación foliar de Ca podría constituir una herramienta nutricional complementaria en el manejo de la Sigatoka negra, particularmente cuando se integra a un programa de manejo establecido. Según la ficha técnica proporcionada para este estudio, SOLEI CaO 20 μ se presenta como una suspensión concentrada con

fracciones de microcalcio y nanocalcio y una concentración declarada de 20 % p/v de Ca. De manera general, la combinación de partículas de diferente escala puede favorecer una mayor superficie de contacto, cobertura y disponibilidad del nutriente sobre la hoja; asimismo, las fracciones nanométricas podrían interactuar con las rutas de entrada foliar asociadas con la cutícula y las estomas (Wang et al., 2023). Sin embargo, esta posibilidad no debe interpretarse como evidencia de absorción completa ni de transporte sistémico del Ca, porque la penetración foliar depende del tamaño de partícula, la composición de la formulación, las propiedades de la cutícula, la apertura estomática, la humectación y las condiciones ambientales (Ding et al., 2023). Por ello, la facilidad potencial de absorción de SOLEI CaO 20 μ debe considerarse una hipótesis tecnológica plausible, pero requiere validación mediante análisis de Ca en tejido foliar y estudios específicos de absorción. Su posible aporte debe evaluarse a partir de la respuesta de la planta y de indicadores epidemiológicos de la enfermedad, evitando equiparar una menor progresión de síntomas con un efecto de control directo sobre el patógeno. Además, bajo condiciones comerciales, la respuesta puede depender de la dosis, del estado fisiológico de la planta, de la dinámica de absorción foliar y de la interacción con el manejo agronómico y fitosanitario implementado (Ding et al., 2023).

A pesar de la importancia fisiológica del Ca, existe información limitada sobre la respuesta epidemiológica de la Sigatoka negra a diferentes dosis de Ca aplicadas vía foliar como complemento de programas de manejo de sigatoka negra en Ecuador. La evaluación bajo condiciones reales de producción resulta relevante para determinar si el nivel nutricional de Ca se asocia con cambios consistentes en indicadores utilizados rutinariamente para el seguimiento de la enfermedad. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de Ca aplicadas vía foliar sobre la respuesta epidemiológica de la Sigatoka negra en plantas de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish), bajo un programa de manejo fitosanitario en El Guabo, provincia de El Oro, Ecuador.

2. Metodología

Se desarrolló una investigación de enfoque cuantitativo, de tipo experimental y alcance comparativo, orientada a evaluar el efecto de diferentes dosis de Ca foliar sobre la respuesta epidemiológica de la sigatoka negra en banano. El estudio se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar, con cinco dosis de Ca (0; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 L/ha), cuatro bloques y un total de 200 plantas monitoreadas durante aproximadamente 100 días. Este modelo metodológico permitió controlar la variabilidad espacial del campo y comparar objetivamente la respuesta de la enfermedad entre tratamientos, contribuyendo directamente al cumplimiento del objetivo planteado.

2.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en una plantación comercial de banano ubicada en el sector Santa Clara, cantón El Guabo, provincia de El Oro, Ecuador (3.237070° S, 79.808784° O; WGS

84), a una altitud aproximada de 15–18 m s.n.m. La zona presenta clima tropical megatérmico semiárido, con temperatura media anual de 25–26 °C, humedad relativa cercana al 86 % y precipitación anual de 1500–2000 mm. El suelo del área experimental es predominantemente de textura franco arcillosa y de origen aluvial.

2.2. Material vegetal

El ensayo se realizó en una plantación comercial de banano (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish), conformada por los clones Valery y Williams. La plantación tenía más de 15 años de establecimiento, se encontraba en producción estable y manejada bajo un sistema de producción convencional. El cultivo estaba dispuesto en marco triangular, con una densidad aproximada de 1450 plantas ha.

Antes de iniciar el experimento se identificaron plantas con vigor, desarrollo vegetativo, estado fenológico y condición fitosanitaria comparables. Para el seguimiento se consideraron plantas en estado fenológico planta +2, con altura superior a 2 m, pseudotallo independiente y desarrollo vegetativo adecuado. Al inicio del estudio, la plantación se encontraba bajo el programa fitosanitario comercial de la finca y presentaba una presión de Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) moderada y manejada.

2.3. Tratamientos y diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con cinco tratamientos y cuatro bloques, para un total de 20 unidades experimentales. Cada bloque incluyó una unidad experimental de cada tratamiento, asignada aleatoriamente con el propósito de reducir el efecto de la variabilidad espacial del terreno. Cada unidad experimental correspondió a una parcela de 0,25 ha; dentro de cada parcela se seleccionaron y marcaron 10 plantas para las evaluaciones sucesivas, por lo que se monitorearon 200 plantas en total. La parcela constituyó la unidad experimental y las plantas marcadas se consideraron submuestras dentro de cada unidad.

Los tratamientos se diferenciaron exclusivamente por la dosis del fertilizante foliar SOLEI CaO 20 μ , formulado como suspensión concentrada de micro y nano calcio y con una concentración declarada de 20 % p/v de Ca. Las dosis evaluadas fueron 0; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 L ha⁻¹. En todas las unidades experimentales se mantuvo el programa fitosanitario comercial y se aplicó TRIZIMAN 75® (mancozeb 750 g/kg, WG) a 1,4 kg ha⁻¹ (**Tabla 1**). En consecuencia, el factor experimental fue la dosis complementaria de Ca dentro de un manejo fungicida común; el estudio no fue diseñado para atribuir al Ca una acción fungicida directa, sino para evaluar si su aporte nutricional se asociaba con cambios en la respuesta epidemiológica de la planta bajo condiciones comerciales.

Tabla 1

Tratamientos evaluados durante el experimento

Tratamiento	TRIZIMAN 75® (kg ha ⁻¹)	SOLEI CaO 20μ (L ha ⁻¹)	Descripción
T0	1,4	0,0	Testigo comercial sin Ca
T1	1,4	1,0	Mancozeb + Ca
T2	1,4	1,5	Mancozeb + Ca
T3	1,4	2,0	Mancozeb + Ca
T4	1,4	2,5	Mancozeb + Ca

Nota: elaborado con base en el diseño experimental.

2.4. Aplicación de los tratamientos

Las aplicaciones foliares se realizaron mediante un vehículo aéreo no tripulado (UAV) DJI Agras T30, equipado con boquillas de atomización centrífuga (rotativas), calibradas para producir gotas finas con un diámetro aproximado de 110–140 μm, favoreciendo una adecuada cobertura sobre el haz de las hojas y optimizando la deposición de los productos. Las mezclas se prepararon utilizando agua como vehículo de dilución, con un volumen de aplicación de 5 galones estadounidenses por hectárea (18,9 L/ha). En todos los tratamientos se mantuvo constante la dosis del fungicida TRIZIMAN 75® (Mancozeb 750 g/kg WG) a razón de 1,4 kg/ha, variando únicamente la dosis del fertilizante foliar SOLEI CaO 20μ, de acuerdo con el tratamiento establecido.

La primera aplicación se realizó el 26 de marzo de 2026 (semana epidemiológica #13), durante la época lluviosa de la provincia de El Oro, Ecuador. La segunda aplicación del fertilizante foliar se efectuó 100 días después, siguiendo el mismo protocolo de preparación de la mezcla, calibración del equipo y procedimiento de aplicación.

Las aplicaciones se realizaron en horario matutino, entre las 07:00 y 09:00 am, bajo condiciones ambientales promedio de 25 °C de temperatura y 80 % de humedad relativa. El UAV operó a una altura de vuelo de 3,0 m sobre el dosel del cultivo, con una velocidad de desplazamiento de 20 km/h y un ancho efectivo de aplicación de 7 m, parámetros que permitieron una distribución uniforme de la pulverización en todas las unidades experimentales. No se utilizaron adherentes ni coadyuvantes adicionales en la mezcla de aplicación.

Durante el período experimental se mantuvo el programa fitosanitario convencional de la plantación para el manejo de la Sigatoka negra, aplicándose las prácticas de manejo de manera uniforme en todas las unidades experimentales. En consecuencia, la dosis de calcio aplicada vía foliar constituyó la única variable experimental, mientras que el manejo agronómico, fitosanitario y las condiciones de aplicación permanecieron constantes durante todo el estudio.

Con el propósito de garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados, todas las aplicaciones se efectuaron siguiendo un protocolo operativo estandarizado,

manteniendo constantes el equipo de aplicación, la calibración, el volumen de mezcla, los parámetros de vuelo y las condiciones de manejo del cultivo durante todo el período experimental.

Una segunda aplicación de Ca se realizó al completar aproximadamente 100 días, siguiendo el mismo protocolo. Debido a que esta aplicación coincidió con la finalización del período de seguimiento, las evaluaciones realizadas durante los 100 días previos reflejan principalmente la respuesta posterior a la primera aplicación. Durante todo el ensayo, las restantes prácticas agronómicas, culturales y fitosanitarias de la finca se mantuvieron uniformes entre las unidades experimentales.

2.5. Variables evaluadas

La respuesta epidemiológica de la Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) se monitoreó durante aproximadamente 100 días mediante ocho evaluaciones quincenales, desde la semana epidemiológica 13 hasta la 27 del año 2026. Las mediciones se realizaron sobre las mismas 10 plantas marcadas en cada unidad experimental. Para mantener un criterio uniforme de seguimiento foliar, se identificó como referencia la hoja N.º 1 (hoja cigarro) en estado de apertura 0,2–0,4 y se continuó la evaluación hasta la emisión de la bellota. Se utilizó la ficha técnica de monitoreo de Sigatoka empleada en programas comerciales de manejo fitosanitario. Las variables registradas fueron:

TH (total de hojas): número total de hojas presentes por planta al momento de la evaluación.

H+VLE: hoja más joven con lesiones en estado lineal temprano, utilizada como indicador de aparición inicial de síntomas.

EE₃, EE₄ y EE₅ (estado evolutivo de la tercera, cuarta y quinta hoja): índices utilizados para caracterizar el avance de las lesiones en hojas funcionales y comparar el progreso de la enfermedad entre tratamientos.

H+VLQ: hoja más joven con lesiones en estado avanzado.

H+VLQ >5 %: hoja más joven en la que la severidad superó el 5 % del área foliar afectada.

Como criterio complementario, el avance de la enfermedad se clasificó operacionalmente de acuerdo con el número de lesiones observadas en el follaje, utilizando tres categorías de severidad (**Tabla 2**).

Tabla 2
Clasificación operacional del avance de la enfermedad

Clasificación	Número de lesiones observadas	Factor de severidad
A (Leve)	0–5	1
B (Moderado)	6–10	2
C (Severo)	≥11	3

2.6. Análisis estadístico

El análisis inferencial se realizó con los datos de la evaluación final (L8), de acuerdo con la estructura del DBCA. Para evitar pseudorreplicación, el valor de cada variable se resumió a nivel de unidad experimental a partir de las 10 plantas evaluadas en cada parcela; por tanto, el análisis consideró 20 observaciones independientes (cinco tratamientos $\times$ cuatro bloques). Las ocho fechas de evaluación se utilizaron adicionalmente para describir la dinámica temporal de la enfermedad, sin agruparlas en un ANOVA simple, debido a que las mismas plantas fueron medidas repetidamente y el tiempo constituye un factor dependiente dentro del seguimiento.

Para cada variable de L8 se ajustó un análisis de varianza correspondiente al diseño de bloques completos al azar, según el modelo $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$, donde Y_{ij} es el valor observado para el tratamiento i en el bloque j ; μ es la media general; T_i es el efecto de la dosis de Ca; B_j es el efecto del bloque; y ε_{ij} es el error experimental. Antes del ANOVA se verificaron los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas. Cuando el efecto de tratamiento resultó significativo ($p \leq 0,05$), las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad.

Además de la significancia estadística, se estimó el tamaño del efecto mediante eta cuadrado (η^2) para valorar la magnitud de la respuesta asociada a los tratamientos. Los resultados se expresaron como medias $\pm$ error estándar. Esta estrategia analítica permite interpretar las diferencias entre dosis de Ca como respuestas complementarias dentro del programa fitosanitario común, sin atribuir al nutriente un efecto fungicida directo sobre *P. fijiensis*.

3. Resultados

Durante las ocho evaluaciones se observó un incremento general de las variables asociadas al desarrollo de la enfermedad. Las diferencias entre tratamientos fueron más evidentes hacia las evaluaciones finales, por lo que el análisis inferencial se centró en L8, correspondiente a 100 días después de la primera aplicación (**Tabla 3**).

Tabla 3
Promedios de las variables epidemiológicas en la evaluación final (L8)

Tratamiento	EE ₃	EE ₄	EE ₅	H+VLQ	H+VLQ >5 %
T0	64,68	122,30	145,05	10,93	11,75
T1	67,30	127,10	149,38	10,95	11,70
T2	71,73	120,75	142,80	10,83	11,53
T3	61,90	112,00	131,55	11,03	12,00
T4	60,03	124,30	141,40	11,10	11,78

Nota: elaborado a partir de las evaluaciones de campo.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos para EE₃, EE₄, EE₅ y H+VLQ >5 %, mientras que H+VLQ no presentó diferencias significativas (**Tabla 4**). EE₅ presentó la mayor respuesta estadística (F=9,122; p<0,001) y la mayor magnitud de efecto ($\eta^2=0,160$), seguida de EE₃ ($\eta^2=0,081$) y EE₄ ($\eta^2=0,071$).

Tabla 4

ANOVA y magnitud del efecto para la evaluación final (L8)

Variable	F tratamientos	p	η^2	Interpretación
EE ₃	4,229	0,0026	0,081	Significativo
EE ₄	3,672	0,0066	0,071	Significativo
EE ₅	9,122	<0,001	0,160	Altamente significativo
H+VLQ	2,286	0,0617	0,045	No significativo
H+VLQ >5 %	2,782	0,0280	0,055	Significativo

El efecto de bloques fue significativo para EE₃ (F=12,690; p<0,001), EE₅ (F=4,076; p=0,0078) y H+VLQ (F=8,271; p<0,001), mientras que no fue significativo para EE₄ (p=0,420) ni H+VLQ >5 % (p=0,103). La presencia de variabilidad espacial justifica el uso del DBCA.

La comparación de medias mostró que T3 (2,0 L ha⁻¹) presentó el menor EE₅ (131,55) y fue significativamente inferior a T0 (p=0,0003), T1 (p<0,0001), T2 (p=0,0042) y T4 (p=0,0177) (**Tabla 5**). Respecto al testigo, T3 representó una reducción de 9,31 % del EE₅. La dosis máxima T4 no superó a T3, por lo que la respuesta no fue proporcional al incremento de la dosis.

Tabla 5

Comparación de medias para EE₅ en L8

Tratamiento	EE ₅	Reducción vs. T0 (%)	Grupo Tukey
T0	145,05	0,00	B
T1	149,38	-2,98	B
T2	142,80	1,55	B
T3	131,55	9,31	A
T4	141,40	2,52	Ab

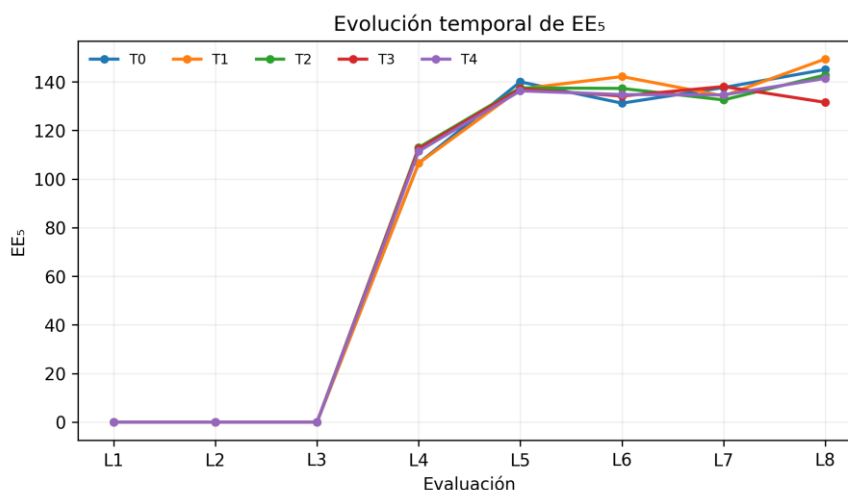
Nota: Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey (p ≤ 0,05).

Para EE₄, T3 registró el menor valor (112,00) y presentó diferencias frente a T1 (p=0,0039) y T4 (p=0,0317). En EE₃, T4 mostró el menor promedio (60,03), seguido por T3 (61,90), lo que indica que T3 fue el tratamiento con respuesta más consistente entre las variables de estado evolutivo. H+VLQ no presentó diferencias significativas, mientras que H+VLQ >5 % sí mostró efecto de tratamientos.

La evolución temporal de EE_5 durante las ocho evaluaciones se presenta en la **Figura 1**, donde las trayectorias de los tratamientos muestran una separación más evidente hacia las evaluaciones finales.

Figura 1

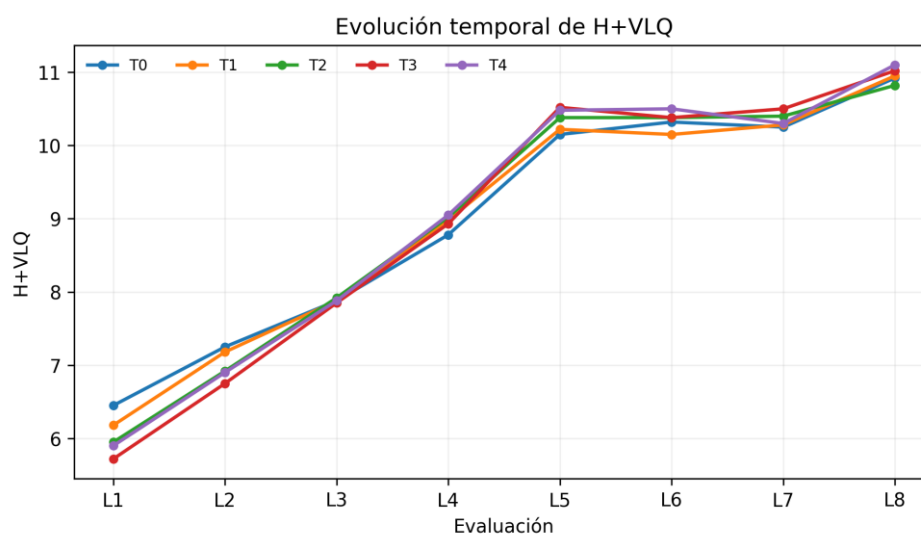
Evolución temporal del estado evolutivo de la quinta hoja (EE_5)



La evolución de $H+VLQ$ mostró un incremento general durante el período de seguimiento, con diferencias visuales entre tratamientos principalmente en las evaluaciones finales, como se muestra en la **Figura 2**.

Figura 2

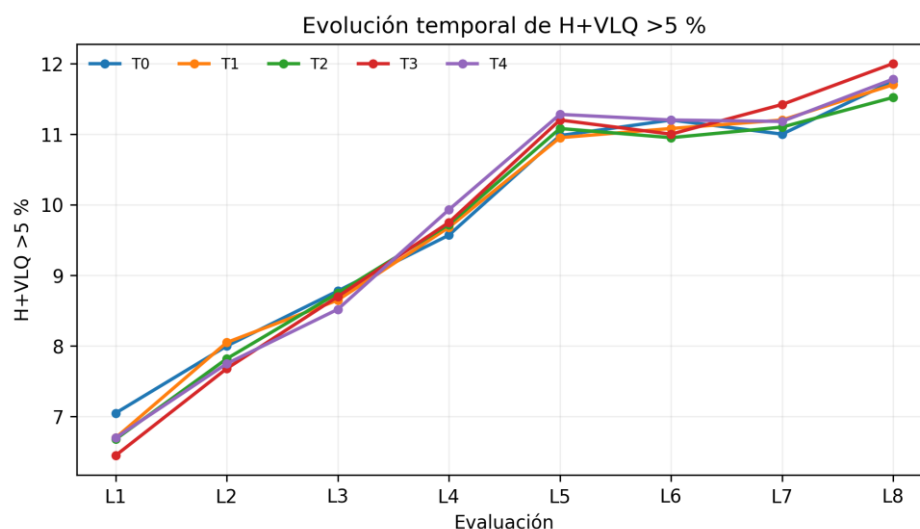
Evolución temporal de la hoja más joven con lesiones avanzadas ($H+VLQ$)



La variable $H+VLQ > 5\%$ también presentó un incremento durante el seguimiento y una mayor diferenciación entre tratamientos hacia L8, como se observa en la **Figura 3**.

Figura 3

Evolución temporal de la hoja más joven con severidad superior al 5 % (H+VLQ >5 %)



4. Discusión

La respuesta diferencial observada al final del ensayo indica que el efecto del calcio fue más evidente sobre el estado evolutivo de las lesiones que sobre la posición de la hoja con lesiones avanzadas. EE_s presentó la mayor magnitud de efecto y la mayor separación estadística entre tratamientos, mientras que H+VLQ no alcanzó significancia. Este patrón sugiere que el aporte de calcio, bajo las condiciones evaluadas, estuvo asociado principalmente con la expresión y progresión de síntomas en hojas funcionales.

El comportamiento de T3 (2,0 L/ha) es relevante porque fue superior a la dosis máxima evaluada. La ausencia de una respuesta creciente con la dosis indica que aumentar la concentración no necesariamente genera un beneficio fitosanitario proporcional. Esta respuesta debe interpretarse como un comportamiento dosis-dependiente dentro del rango evaluado y no como una demostración de una dosis óptima universal. Para confirmar una dosis óptima sería necesario evaluar un gradiente más amplio de concentraciones y ajustar formalmente una curva dosis-respuesta.

El papel fisiológico del calcio ofrece una explicación plausible para la respuesta observada. El Ca²⁺ participa en la estabilidad de estructuras celulares y, frente a estímulos bióticos, funciona como una señal temprana que activa proteínas sensoras y rutas de señalización relacionadas con la defensa vegetal (Yuan et al., 2022). Por tanto, una condición nutricional favorable puede contribuir a preservar la integridad de los tejidos y modificar la respuesta de la planta frente al establecimiento y desarrollo de patógenos.

En *P. fijiensis*, la interpretación debe mantenerse dentro del concepto de manejo integrado. La enfermedad presenta alta capacidad adaptativa y la dependencia de fungicidas ha generado presión de selección hacia poblaciones con menor sensibilidad a determinados grupos químicos, fenómeno documentado en poblaciones de diferentes regiones productoras, incluido Ecuador (Churchill et al., 2011; Benavides-López et al., 2022). En consecuencia, el calcio no debe considerarse un sustituto del control fungicida, sino una herramienta nutricional complementaria cuya utilidad debe evaluarse juntamente con el programa fitosanitario.

El hecho de que el efecto estadístico se concentre en la evaluación final también limita la interpretación temporal. El análisis descriptivo de las ocho fechas mostró una separación creciente hacia las últimas evaluaciones, pero no debe interpretarse como evidencia de una reducción acumulativa de la enfermedad mediante un ANOVA simple que agrupe todas las semanas. Debido a que las mismas plantas fueron medidas repetidamente, un análisis formal de medidas repetidas o un modelo mixto sería apropiado en un estudio posterior para estimar directamente los efectos de tiempo y la interacción tratamiento por tiempo.

Desde el punto de vista agronómico, el resultado más consistente fue el mantenimiento de un menor estado evolutivo en las hojas cuarta y quinta con T3 al finalizar el ensayo. El mantenimiento de tejido foliar funcional es relevante en banano por su contribución a la actividad fotosintética; sin embargo, este estudio no midió rendimiento ni calidad de racimo, por lo que no corresponde afirmar que la reducción del estado evolutivo se tradujo directamente en mayor producción.

El principal aporte del estudio es la generación de evidencia de campo en una plantación comercial de El Oro sobre una estrategia nutricional complementaria para el manejo de *P. fijiensis*. Estudios recientes destacan que la epidemiología, la adaptación del patógeno y las condiciones ambientales deben considerarse conjuntamente para mejorar el manejo de la Sigatoka (*P. fijiensis* y *P. musae*, 2025). En este contexto, los resultados obtenidos constituyen una base para investigaciones posteriores que integren nutrición mineral, dinámica epidemiológica y desempeño productivo.

4.1. Implicaciones prácticas

Bajo las condiciones del ensayo, la dosis de 2,0 L/ha presentó el comportamiento más consistente entre las variables de estado evolutivo evaluadas al final del período experimental. Su incorporación a un programa comercial debe considerarse como una práctica nutricional complementaria y validarse en ciclos productivos adicionales antes de establecer una recomendación general para diferentes zonas, clones y condiciones ambientales.

4.2. Limitaciones del estudio

El ensayo se desarrolló durante un único ciclo de 100 días, en una plantación comercial de El Guabo, provincia de El Oro, con clones Valery y Williams y bajo un programa fitosanitario comercial uniforme. Por tanto, los resultados representan las condiciones

específicas del sitio y período evaluados. El estudio no incluyó variables de rendimiento, calidad de racimo, concentración foliar de Ca ni un modelo formal de medidas repetidas. Futuras investigaciones deberían ampliar el período de evaluación, incorporar diferentes ambientes y ciclos productivos, cuantificar el estado nutricional de las plantas y evaluar la interacción entre dosis de calcio, fungicidas y rendimiento.

5. Conclusiones

- La aplicación foliar de calcio produjo diferencias significativas entre tratamientos en EE₃, EE₄, EE₅ y H+VLQ >5 % durante la evaluación final de 100 días, mientras que H+VLQ no presentó diferencias significativas.
- EE₅ fue la variable más sensible al efecto de los tratamientos, con F=9,122, p<0,001 y $\eta^2=0,160$.
- El tratamiento T3, correspondiente a 2,0 L/ha de SOLEI CaO 20 μ , presentó el menor EE₅ (131,55) y una reducción de 9,31 % respecto al testigo, siendo significativamente inferior a las demás dosis evaluadas.
- La respuesta no fue proporcional al incremento de la dosis, ya que T4 (2,5 L/ha) no superó a T3. Por ello, 2,0 L/ha, puede considerarse la dosis de mejor desempeño dentro del rango evaluado, sin afirmar que constituya una dosis óptima universal.
- El calcio foliar presenta potencial como herramienta complementaria dentro del manejo integrado de la Sigatoka negra, pero no debe considerarse sustituto del control fungicida.

5.1. Agradecimientos

Expreso agradecimiento al propietario de plantación bananera donde se desarrolló el ensayo por facilitar las instalaciones y el manejo agronómico necesario para la ejecución de la investigación. Se agradece asimismo a la Universidad Técnica de Machala por el apoyo académico y a las personas que colaboraron en las actividades de campo y registro de información.

6. Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflictos de intereses que puedan haber influido en el diseño, ejecución, análisis o interpretación de los resultados.

7. Derechos de autor (copyright)

Los autores son los titulares de los derechos de autor (patrimoniales y/o de explotación) de los contenidos de la revista (copyright).

8. Declaración de contribución de los autores

Los autores declaran haber participado de manera equitativa y sustancial en la realización de esta investigación, bajo las responsabilidades según la Taxonomía CRediT para describir las contribuciones individuales de cada autor al trabajo.

Jefferson Estuardo Reyes Coronel realizó la conceptualización de la investigación, organización y ejecución del ensayo, recopilación y curación de los datos, revisión del análisis estadístico, interpretación de los resultados, elaboración del borrador original, preparación de tablas y figuras, revisión crítica del contenido y aprobación de la versión final del manuscrito.

Luis Felipe Lata Tenesaca realizó la supervisión académica y metodológica de la investigación, brindó orientación durante el desarrollo del ensayo, revisó el análisis y la interpretación de los resultados, efectuó la revisión crítica del manuscrito, realizó la corrección científica y académica y aprobó la versión final para su publicación.

Divulgación de la delegación a la IA generativa

La responsabilidad del manuscrito final recae íntegramente en el autor. Las herramientas de IA generativa no figuran como autores y no asumen responsabilidad por los resultados finales. Declaración presentada por: Jefferson Estuardo Reyes Coronel.

9. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios del autor.

10. Referencias bibliográficas

- Almeida de Jesus, J., Carvalho Monteiro, S. L., D.Bragança, C. A., Anda Rocabado, J. M., Silveira D'Ávila, L., & Silva da Invenção, D. R. (2025). Pseudocercospora fijiensis and pseudocercospora musae: understanding the relationship between biology and epidemiology. *Fungal Biology Reviews*, 51 (100408), 100408. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2024.100408>
- Bakache, A., Douzals, J.-P., Bonicelli, B., Cotteux, E., de Lapeyre de Bellaire, L., & Sinfort, C. (2018). Development of a rapid methodology for biological efficacy assessment in banana plantations: application to reduced dosages of contact fungicide for Black Leaf Streak Disease (BLSD) control. *Pest Management Science*, 75(4), 1081–1090. <https://doi.org/10.1002/ps.5219>
- Benavides-López, L. F., Camacho-Calvo, A. M., & Muñoz Fonseca, M. E. (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 fungicida. *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, 3(1), 1–13. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/agroinn/article/view/6503>
- Carlier, J., de Lapeyre de Bellaire, L., Abadie, C., Chillet, M., Carval, D., Neil, R., Miller, G., Thangavelu, R., & Ngando Essoh Otto, J. (2024). The Sigatoka leaf

- disease complex in banana. En *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science* (pp. 3–38). Burleigh Dodds Science Publishing.
<https://doi.org/10.19103/AS.2022.0108.01>
- Chong, P., Carr, C., Murillo, G., Guzmán, M., Villalobos, R., Sandoval, J., & Kema, G. H. J. (2024). Controlling black leaf streak disease (BLS) in banana: The case of Costa Rica. En *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science* (pp. 39–64). Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2022.0108.02>
- Chong, P., Essoh, J. N., Arango Isaza, R. E., Keizer, P., Stergiopoulos, I., Seidl, M. F., Guzman, M., Sandoval, J., Verweij, P. E., Scalliet, G., Sierotzki, 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). A world-wide analysis of reduced sensitivity to DMI fungicides in the banana pathogen *pseudocercospora fijiensis*. *Pest Management Science*, 77(7), 3273–3288. <https://doi.org/10.1002/ps.6372>
- Churchill, A. C. L. (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. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2010.00672.x>
- Ding, Y., Zhao, W., Zhu, G., Wang, Q., Zhang, P., & Rui, Y. (2023). Recent trends in foliar nanofertilizers: a review. *Nanomaterials*, 13(21), 2906. <https://doi.org/10.3390/nano13212906>
- Kimunye, J., Were, E., Swennen, R., Viljoen, A., & Mahuku, G. (2021). Sources of resistance to *Pseudocercospora fijiensis*, the cause of black Sigatoka in banana. *Plant Pathology*, 70(7), 1651–1664. <https://doi.org/10.1111/ppa.13408>
- Narwal, P., Negi, N. P., & Kumar, D. (2024). Boosting banana resilience: calcium supplementation enhances osmolyte and secondary metabolites production and strengthens the antioxidant machinery in drought and cold-exposed banana plants. *Environmental and Experimental Botany*, 226, 105946. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105946>
- Negi, N. P., Prabha, G. D., Narwal, P., Panwar, R., Kumar, D., Chaudhry, B. B., & Rustagi, A. (2023). The calcium connection: exploring the intricacies of calcium signaling in plant–microbe interactions. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1248648. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1248648>
- Patra, N., Hariharan, S., Gain, H., Maiti, M. K., Das, A., & Banerjee, J. (2021). TypiCal but DeliCate Ca++re: Dissecting the essence of calcium signaling network as a robust response coordinator of versatile abiotic and biotic stimuli in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 752246. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.752246>

Wang, X., Xie, H., Wang, P., & Yin, H. (2023). Nanoparticles in plants: uptake, transport and physiological activity in leaf and root. *Materials*, 16(8), 3097.

<https://doi.org/10.3390/ma16083097>

Yuan, P., Tanaka, K., & Poovaiah, B. W. (2022). Calcium/Calmodulin-mediated defense signaling: What is looming on the horizon for AtSR1/CAMTA3-mediated signaling in plant immunity. *Frontiers in Plant Science*, 12, 795353.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.795353>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.

