



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Evaluación de fungicidas orgánicos para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en un cultivo de Banano**

**JIMÉNEZ CABRERA JOSÉ LUIS  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Evaluación de fungicidas orgánicos para el control de  
Mycosphaerella fijiensis en un cultivo de Banano**

**JIMÉNEZ CABRERA JOSÉ LUIS  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Evaluación de fungicidas orgánicos para el control de  
Mycosphaerella fijiensis en un cultivo de Banano**

**JIMÉNEZ CABRERA JOSÉ LUIS  
INGENIERO AGRONOMO**

**JARAMILLO AGUILAR EDWIN EDISON**

**MACHALA  
2024**

## REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN

Evaluación de fungicidas naturales para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en un cultivo de Banano Orgánico.

### INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

Isadora Gonçalves da Silva, Renata Castoldi, Nilvanira Donizete Tebaldi, Dahis Ramalho Moura et al. "Reaction of sweet corn genotypes to bacterial stalk rot", Bioagro, 2024

Publicación

1%

2

Adriana Mellado-Vázquez, Samuel Salazar-García, Ricardo Goenaga, Alfredo López-Jiménez. "Survey of fruit nutrient removal by mango (*Mangifera indica* L.) cultivars for the export market in various producing regions of Mexico", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2019

Publicación

<1%

3

Daniel Castro Acuña. "Efectos del voltaje de tubo en la dosis de radiación y calidad de imagen en fantoma en tomografía computarizada multicorte pediátrica", Revista Chilena de Radiología, 2016

Publicación

<1%

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

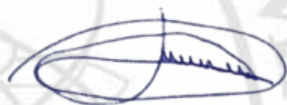
El que suscribe, JIMÉNEZ CABRERA JOSÉ LUIS, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación de fungicidas orgánicos para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en un cultivo de Banano, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



JIMÉNEZ CABRERA JOSÉ LUIS

0705724086

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por brindarme la salud, la perseverancia y la inspiración necesarias para completar este importante proyecto. Sin Su guía y bendiciones, este logro no habría sido posible.

A mis padres, les debo un sincero y especial agradecimiento. Su apoyo incondicional, tanto emocional como económico, ha sido fundamental para que pudiera concentrarme en mis estudios y culminar esta tesis. Su fe en mí, sus constantes palabras de ánimo, amor inagotable y sacrificio constante me motivaron a seguir adelante en momentos de dificultad. Su ejemplo de dedicación y trabajo arduo ha sido una fuente de inspiración a lo largo de mi vida, enseñándome la importancia de la responsabilidad y la determinación, valores cruciales en este camino académico.

A mi pareja, mi compañera incansable durante todo el proceso práctico de esta investigación, le expreso mi gratitud más profunda. Gracias por tu paciencia, tu apoyo y tu comprensión en los momentos de estrés y agotamiento. Tu ayuda práctica y emocional ha sido un pilar fundamental para el éxito de este proyecto. Cada consejo, cada gesto de cariño y cada momento compartido han hecho que este viaje sea más llevadero y significativo.

También deseo agradecer al Ingeniero Joffre Jiménez, quien me brindó la valiosa oportunidad de aprender en la finca productora de banano que él dirige. Su disposición para compartir su conocimiento y experiencia en el manejo y control de enfermedades del banano fue crucial para la realización de esta investigación. Gracias por confiar en mí y por ofrecerme un espacio donde pude aplicar y enriquecer mis conocimientos teóricos con experiencias prácticas reales.

Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. A mi tutor y cotutores, por sus enseñanzas y orientaciones académicas, por su colaboración y amistad. Cada uno de ustedes ha dejado una huella en este logro, y por ello, les estoy eternamente agradecido.

Este trabajo es el resultado de un esfuerzo colectivo y del apoyo de muchas personas a quienes siempre llevaré en mi corazón. Gracias por creer en mí y por ayudarme a alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

# Evaluación de fungicidas orgánicos para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en un cultivo de Banano

## RESUMEN

**Autor:** José Luis Jiménez Cabrera

**Tutor:** Ing. Edwin Edison Jaramillo Aguilar

Este estudio se centró en evaluar el efecto de fungicidas orgánicos para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en un cultivo de Banano. La investigación se llevó a cabo en la granja "Santa Inés", donde se aplicaron y compararon siete tratamientos diferentes. La metodología incluyó la recolección de datos sobre la incidencia de la enfermedad y su análisis mediante un análisis de varianza no paramétrico, ya que las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Levene) indicaron que los datos no cumplían con los supuestos necesarios para un ANOVA paramétrico. Los resultados mostraron que los tratamientos T7 (Esteres de Sorbitano), T4 (Melaleuca alternifolia) y T3 (Extracto de neem) fueron los más efectivos en el control de la Sigatoka negra, con los valores más bajos de Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de 34.58, 35.24 y 41.26, respectivamente. Estas cifras mostraron diferencias estadísticamente significativas en comparación con el tratamiento de control (T1), que tuvo un valor de 59.41. Por otro lado, los tratamientos T2 (Caldo Silicosulfocalcico), T6 (Óxido de Silicio) y T5 (Óxido de Calcio) no resultaron efectivos, presentando valores de ABCPE significativamente más altos (117.71, 121.3 y 163.33, respectivamente) en comparación con el control. En conclusión, los tratamientos T7, T4 y T3 demostraron ser opciones viables para el manejo de *Mycosphaerella fijiensis* en cultivos orgánicos de banano, mientras que los tratamientos T2, T5 y T6 no proporcionaron un control adecuado de la enfermedad. Estos hallazgos pueden orientar futuras prácticas agrícolas en la selección de fungicidas orgánicos eficaces para este cultivo.

**Palabras claves:** Sigatoka negra, Homocedasticidad, Eficaces.

# Evaluation of Organic Fungicides for the Control of *Mycosphaerella fijiensis* in a Banana Plantation

## ABSTRACT

**Autor:** José Luis Jiménez Cabrera

**Tutor:** Ing. Edwin Edison Jaramillo Aguilar

This study focused on evaluating the effect of organic fungicides for controlling *Mycosphaerella fijiensis* in a banana plantation. The research was conducted at the "Santa Inés" farm, where seven different treatments were applied and compared. The methodology included data collection on disease incidence and its analysis through a non-parametric analysis of variance, as normality (Shapiro-Wilk) and homoscedasticity (Levene) tests indicated that the data did not meet the necessary assumptions for a parametric ANOVA. The results showed that the treatments T7 (Esteres de Sorbitano), T4 (Melaleuca alternifolia), and T3 (Extracto de neem) were the most effective in controlling Black Sigatoka, with the lowest values of Area Under the Disease Progress Curve (AUDPC) at 34.58, 35.24, and 41.26, respectively. These figures exhibited statistically significant differences compared to the control treatment (T1), which had a value of 59.41. On the other hand, treatments T2 (Silicosulfocalcic Broth), T6 (Silicon Oxide), and T5 (Calcium Oxide) were not effective, showing significantly higher AUDPC values (117.71, 121.3, and 163.33, respectively) compared to the control. In conclusion, treatments T7, T4, and T3 proved to be viable options for managing *Mycosphaerella fijiensis* in organic banana crops, while treatments T2, T5, and T6 did not provide adequate disease control. These findings may guide future agricultural practices in selecting effective organic fungicides for this crop.

**Keywords:** Black Sigatoka, Homoscedasticity, Effective.



## INDICE DE CONTENIDO

Introducción .....	11
Objetivo General: .....	12
Objetivo Específico: .....	12
Marco Teórico.....	12
1. Generalidades del cultivo.....	12
2. Taxonomía del cultivo de Banano.....	12
3. Requerimientos edafoclimáticos.....	13
4. Manejo agronómico.....	14
5. Manejo fitosanitario.....	15
6. Principales enfermedades.....	16
7. Manejo de la sigatoka negra.....	17
8. Funciones del silicio y calcio en la tolerancia a enfermedades. ....	18
Materiales y Métodos .....	20
Materiales.....	20
Resultados y Discusiones: .....	26
Análisis exploratorio de datos .....	26
Área bajo la curva del progreso de la enfermedad .....	27

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación Geográfica de la zona de estudio.....	20
<b>Figura 2</b> Área bajo la curva de crecimiento de la enfermedad .....	21
<b>Figura 3</b> Siembra de la plántula de banano. ....	23
<b>Figura 4</b> Mantenimiento del área sembrada. ....	23
<b>Figura 5</b> Foco de infección del hongo de la sigatoka. ....	23
<b>Figura 6</b> Aplicación de los productos. ....	24
<b>Figura 7</b> Cuadrado de 10x10 para la evaluación. ....	24
<b>Figura 8</b> Evidencia final de la evaluación de los 7 tratamientos. ....	25
<b>Figura 9</b> Representación gráfica de Anova no paramétrico .....	29

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Descripción de tratamientos. ....	21
<b>Tabla 2</b> Análisis para el DCA .....	25
<b>Tabla 3</b> Prueba de normalidad .....	26
<b>Tabla 4</b> Prueba de varianzas homogéneas (Levene). ....	27
<b>Tabla 5</b> ANOVA no paramétrico.....	28

<b>Tabla 6</b> Prueba Post hoc .....	28
--------------------------------------	----

### **TABLA DE ANEXOS**

<b>Anexo 1.</b> Control de arvenses con guadaña. ....	36
<b>Anexo 2.</b> Deshoje .....	36
<b>Anexo 3.</b> Resultados de T1 (Testigo).....	37
<b>Anexo 4.</b> Resultados de T2 (Caldo Silicosulfocalcico).....	37
<b>Anexo 5.</b> Resultados de T3 (Blindax). ....	37
<b>Anexo 6.</b> Resultados de T4 (Timorex). ....	38
<b>Anexo 7.</b> Resultados de T5 (Oxido de calcio).....	38
<b>Anexo 8.</b> Resultados de T6 (Oxido de silicio). ....	38
<b>Anexo 9.</b> Resultado de T7 (Killbac Oil).....	39
<b>Anexo 10.</b> Hoja más representativa de cada tratamiento (7 en total).....	39

## Introducción

El banano (*Musa spp.*) representa uno de los cultivos más significativos en Ecuador (FAO, 2021). Sin embargo, la producción de banano enfrenta importantes desafíos fitosanitarios, siendo la Sigatoka negra, provocada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, una de las enfermedades más destructivas (Arzanlou et al., 2022). Esta enfermedad no solo reduce de manera considerable el rendimiento del cultivo, sino que también incrementa los costos de producción debido a la necesidad de tratamientos fungicidas continuos (Ploetz, 2020). Desde su aparición, el manejo de la Sigatoka negra ha dependido en gran medida de la aplicación de fungicidas químicos, los cuales conllevan desventajas significativas, tales como la resistencia del patógeno y un impacto negativo en el medio ambiente (Chávez et al., 2021).

En los últimos años, las exportaciones de banano han constituido un pilar fundamental para la economía ecuatoriana, consolidando al país como uno de los principales exportadores a nivel mundial de esta fruta. De acuerdo con datos de la FAO (2021), Ecuador ha mantenido una destacada presencia en el mercado global del banano, exportando aproximadamente 6.5 millones de toneladas en 2020, lo que resultó en ingresos superiores a los 3.5 mil millones de dólares. Este cultivo no solo es crucial para la economía nacional, sino que también beneficia a miles de familias en las regiones productoras, al generar empleo y mejorar las condiciones de vida en las comunidades rurales (Brown, Vezina, & Dita, 2017). Adicionalmente, el banano ecuatoriano es reconocido internacionalmente por su calidad, lo que refuerza su competitividad en los mercados internacionales. En 2019, las exportaciones de banano alcanzaron un valor de 3.4 mil millones de dólares, lo que resalta la importancia económica de este cultivo para el país (Ploetz, Kema, & Ma, 2017).

Con el fin de abordar estos desafíos, se ha intensificado la búsqueda de alternativas más sostenibles y seguras, como la implementación de fungicidas orgánicos (Santos et al., 2021). Estos fungicidas representan una solución potencialmente efectiva y menos perjudicial para el medio ambiente, lo que se encuentra en consonancia con las prácticas agrícolas sostenibles (Sharma & Sharma, 2019). El objetivo principal de este estudio es evaluar la efectividad de diversos fungicidas orgánicos en el control de *Mycosphaerella fijiensis* en cultivos de banano (Ríos et al., 2020).

La adopción de fungicidas orgánicos no solo puede contribuir a disminuir la carga química en el medio ambiente, sino que también mejora la salud del suelo y fomenta la biodiversidad. Investigaciones anteriores han indicado que el uso de productos orgánicos promueve un ecosistema agrícola más equilibrado, favoreciendo la presencia de microorganismos benéficos y reduciendo la dependencia de insumos sintéticos (González et al., 2021). Además, los fungicidas orgánicos suelen ser biodegradables y menos tóxicos, lo que reduce los riesgos para la salud de agricultores y consumidores (Hernández et al., 2022).

**Objetivo General:**

Evaluar el efecto de fungicidas orgánicos para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en un cultivo de Banano.

**Objetivo Específico:**

Evaluar la severidad de la enfermedad, mediante el área bajo la curva del progreso de la enfermedad, en cada uno de los tratamientos, en una plantilla de banano mediante la prueba de hoja simple.

**Marco Teórico****1. Generalidades del cultivo.**

El banano (*Musa* spp.) es parte de la familia Musaceae, que incluye diversas especies y subespecies. Las especies más cultivadas a nivel comercial son *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*, que se hibridan para dar origen a la mayoría de los cultivares comestibles. Estos híbridos se agrupan en diferentes categorías genómicas, tales como AAA, AAB y ABB, según la combinación genética de sus progenitores. Esta clasificación es esencial para comprender la diversidad genética y las características agronómicas de los cultivares de banano (Zhang et al., 2017).

La *Musa acuminata* se distingue por sus frutos sin semillas, mientras que la *Musa balbisiana* contribuye con características de resistencia a diversas enfermedades y tolerancia a condiciones adversas. Los híbridos triploides, especialmente aquellos del grupo AAA, son los más prevalentes en el comercio internacional, incluyendo variedades como Cavendish. La identificación precisa y la clasificación de estos cultivares son fundamentales para la gestión agrícola y la investigación genética (Perrier et al., 2019).

El análisis filogenético se ha convertido en una herramienta fundamental para comprender la historia evolutiva del banano. Investigaciones recientes han empleado marcadores moleculares para definir las relaciones entre las especies y subespecies de *Musa*, lo que ha permitido una comprensión más precisa de su diversificación y adaptación. Esta información es esencial para el desarrollo de nuevas variedades que respondan adecuadamente a las demandas agrícolas y comerciales (Heslop-Harrison & Schwarzacher, 2016).

**2. Taxonomía del cultivo de Banano.**

El cultivo de banano abarca diversas especies con distintos niveles de ploidía, incluyendo diploides, tetraploides y, en menor medida, pentaploides, las cuales presentan características agronómicas relevantes. Estas variaciones en la ploidía afectan factores como el tamaño del fruto, la resistencia a plagas y enfermedades, así como la adaptabilidad a variadas condiciones ambientales. Por ello, la selección y mejora de estas variantes ploidales sigue siendo un área clave en la investigación agrícola (Nyine et al., 2018).

La nomenclatura y clasificación del banano son de vital importancia no solo en el ámbito científico, sino también en aspectos comerciales y legislativos. La correcta identificación de cultivares es esencial para proteger la propiedad intelectual y garantizar la calidad y

autenticidad de los productos en el mercado internacional. Es crucial que los sistemas de clasificación sean precisos y ampliamente aceptados a fin de evitar confusiones y disputas comerciales (Vrydaghs et al., 2016).

Dentro de la biodiversidad del banano, las especies silvestres desempeñan un papel fundamental en la conservación genética. Estas especies aportan genes que pueden ser utilizados en programas de mejoramiento para desarrollar variedades con características deseables, como la resistencia a enfermedades y al estrés abiótico. La conservación tanto in situ como ex situ de estas especies es una prioridad para asegurar la sostenibilidad del cultivo de banano (Brown et al., 2017).

La clasificación taxonómica del banano incluye diversos subgrupos y clones en cada grupo genómico. Subgrupos específicos, como Gros Michel y Cavendish dentro del grupo AAA, presentan características agronómicas y desafíos propios. Es esencial comprender estas diferencias para garantizar un manejo adecuado del cultivo y aplicar estrategias específicas de gestión (Ploetz, 2015).

El conocimiento sobre la taxonomía del banano ha avanzado considerablemente gracias a las tecnologías de secuenciación de nueva generación. Estas herramientas permiten un análisis exhaustivo del genoma del banano, facilitando la identificación de genes clave y marcadores moleculares asociados con rasgos agronómicos significativos. Este progreso contribuye al desarrollo de variedades mejoradas mediante biotecnología y edición genética (D'Hont et al., 2016).

Adicionalmente, la taxonomía del banano está intrínsecamente relacionada con su historia de domesticación y diseminación. Estudios arqueobotánicos y genéticos han identificado cómo las civilizaciones antiguas seleccionaron y propagaron diferentes variedades de banano, adaptándolas a diversas condiciones ambientales y culturales. Este legado histórico continúa impactando la diversidad genética y las prácticas de cultivo moderno del banano (Perrier et al., 2011).

### **3. Requerimientos edafoclimáticos.**

El cultivo de banano se desarrolla de manera óptima en regiones tropicales y subtropicales donde las condiciones climáticas y del suelo son adecuadas. La temperatura ideal para su crecimiento se encuentra entre 26°C y 30°C; temperaturas inferiores a 15°C pueden retardar el crecimiento, mientras que aquellas superiores a 35°C pueden inducir estrés térmico y afectar negativamente la productividad. La humedad relativa debe ser alta, generalmente superior al 80%, para promover el desarrollo de la planta y reducir el estrés hídrico (Turner et al., 2016).

Las precipitaciones necesarias para el cultivo de banano oscilan entre 1,800 y 2,500 mm anuales, distribuidas de manera uniforme a lo largo del año. Prolongados periodos de sequía son perjudiciales, al igual que un exceso de lluvias, que puede propiciar la aparición de enfermedades. El banano requiere suelos profundos y bien drenados, con texturas que varían de franco arenosa a franco arcillosa, ricos en materia orgánica y con un pH que debe mantenerse entre 5.5 y 7.0 (Robinson & Galán Saúco, 2016).

El contenido de nutrientes del suelo es fundamental para el desarrollo saludable del banano. Los macronutrientes esenciales son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), mientras que los micronutrientes relevantes incluyen el calcio (Ca), magnesio (Mg),

azufre (S), zinc (Zn) y boro (B). La deficiencia o el exceso de estos nutrientes pueden manifestarse en síntomas visibles en las plantas, impactando negativamente la producción de frutos. Por esta razón, es importante llevar a cabo análisis periódicos del suelo y ajustar la fertilización de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo (Espinosa et al., 2017).

Las condiciones climáticas extremas, como ciclones y tormentas tropicales, representan un desafío considerable para los productores de banano. Estos eventos pueden causar daños físicos a las plantas, incluyendo el derribo y la ruptura de pseudotallos, así como aumentar la incidencia de enfermedades. La implementación de sistemas de soporte y la selección de variedades más resistentes a condiciones adversas son estrategias fundamentales para mitigar estos riesgos (Castaño et al., 2019).

#### **4. Manejo agronómico.**

El riego es una práctica esencial en la gestión del cultivo de banano, especialmente en regiones con variabilidad en la precipitación. Los sistemas de riego por goteo y microaspersión se destacan por su capacidad para suministrar agua de manera eficiente y uniforme, optimizando el uso de recursos y garantizando que las plantas reciban la humedad necesaria. Una gestión adecuada del riego es vital para prevenir tanto la escasez de agua como el exceso, que puede inducir problemas de encharcamiento y favorecer la aparición de enfermedades del suelo (López & Espinosa, 2019).

La topografía del terreno también es un factor determinante en el cultivo de banano. Las zonas con una inclinación moderada son preferibles, ya que facilitan el drenaje natural del agua, disminuyendo el riesgo de encharcamiento. Por otro lado, las pendientes pronunciadas pueden incrementar la erosión del suelo, lo cual hace necesario implementar prácticas de conservación, como la construcción de terrazas y el uso de barreras vegetativas, para mitigar estos efectos (Arango et al., 2018).

El manejo del microclima en torno a las plantaciones de banano puede tener un impacto significativo en su crecimiento y productividad. La instauración de coberturas vegetales, barreras contra el viento y sistemas agroforestales contribuye a moderar las temperaturas extremas, conservar la humedad del suelo y proporcionar sombra parcial, beneficiando así el desarrollo de las plantas y mejorando las condiciones generales del cultivo (Blomme et al., 2017).

La salinidad del suelo es otro aspecto que puede influir en el cultivo de banano. Los suelos con alta concentración de sales pueden provocar toxicidad iónica y limitar la disponibilidad de agua para las plantas. Por ello, es esencial realizar análisis de salinidad y, de ser necesario, aplicar prácticas de manejo como el lavado del suelo con agua de calidad adecuada y la incorporación de enmiendas orgánicas que mejoren la estructura y la permeabilidad del mismo (Soto & Mena, 2017).

Las prácticas de manejo del suelo, como la labranza y la rotación de cultivos, son igualmente relevantes para mantener la salud del suelo y potenciar la productividad del banano. La labranza mínima o nula ayuda a conservar la estructura del suelo y su contenido de materia orgánica, y la rotación de cultivos puede disminuir la incidencia de plagas y enfermedades del suelo, favoreciendo la biodiversidad y sostenibilidad del sistema agrícola (Gálvez et al., 2018).

El manejo agronómico del banano abarca diversas prácticas fundamentales que garantizan la salud y productividad del cultivo. La preparación del suelo es el primer paso, que incluye labores de arado y nivelación para asegurar un adecuado drenaje y la eliminación de malezas. La densidad de plantación es un factor crítico; una adecuada densidad proporciona espacio suficiente para el desarrollo radicular y reduce la competencia por recursos entre las plantas (Espinosa et al., 2017).

La elección del material de siembra es crucial para el éxito del cultivo. Se recomienda utilizar plántulas libres de enfermedades y de alta calidad genética. Las técnicas avanzadas, como la micropropagación, han facilitado la obtención de plántulas homogéneas y saludables, asegurando un buen establecimiento y una producción uniforme (Robinson & Galán Saúco, 2016).

La fertilización constituye otro aspecto clave en el manejo agronómico del banano. Un programa de fertilización equilibrada debe contemplar aplicaciones regulares de nitrógeno, fósforo y potasio, así como de micronutrientes esenciales como el magnesio y el zinc. La fertilización debe fundamentarse en análisis de suelo y tejido para ajustar las dosis según las necesidades del cultivo en las diferentes etapas de crecimiento (Turner et al., 2016).

El riego es fundamental para mantener la humedad del suelo en niveles óptimos. Los sistemas de riego por goteo y microaspersión son altamente eficaces, permitiendo una distribución uniforme del agua y reduciendo las pérdidas por evaporación. Un manejo adecuado del riego es determinante para evitar tanto el déficit hídrico como el exceso de agua, ambos factores que pueden impactar negativamente el crecimiento y la producción del banano (López & Espinosa, 2019).

Mejorar el drenaje del suelo y optimizar la densidad de plantación son prácticas recomendadas en el manejo de la sigatoka negra. Un drenaje efectivo disminuye la humedad relativa alrededor de las plantas, limitando la proliferación del hongo. Asimismo, una adecuada densidad de plantación asegura una mejor ventilación y penetración de luz solar, creando un ambiente menos propicio para el desarrollo del patógeno (Blomme et al., 2017).

### **5. Manejo fitosanitario.**

El control de malezas es una práctica esencial para minimizar la competencia por agua y nutrientes en el cultivo de banano. Se puede llevar a cabo mediante el uso de herbicidas selectivos, así como a través de prácticas culturales como el acolchado y el cultivo intercalado. Asimismo, la implementación de coberturas vegetales resulta efectiva para suprimir las malezas y mejorar la estructura del suelo (Gálvez et al., 2018).

La poda es otra práctica agronómica clave en la gestión del cultivo. Consiste en la eliminación de hojas viejas y enfermas, lo que favorece una mejor ventilación y disminuye la incidencia de enfermedades foliares. Adicionalmente, la eliminación de retoños no deseados (hijos) es fundamental para optimizar los recursos destinados al desarrollo del corno principal, lo que a su vez promueve una producción de frutos más uniforme y de mayor calidad (Arango et al., 2018).

El control de plagas y enfermedades es un aspecto crítico para el éxito en el cultivo de banano. Las plagas más comunes, como el picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) y los

nematodos, pueden ocasionar daños significativos al sistema radicular y al sistema vascular de la planta. El manejo integrado de plagas (MIP) combina enfoques culturales, biológicos y químicos para mantener las poblaciones de plagas por debajo de niveles que puedan resultar perjudiciales (Blomme et al., 2017).

El monitoreo continuo del cultivo es una estrategia fundamental para la detección temprana de problemas. La implementación de sistemas de alerta temprana y la capacitación de los agricultores en técnicas de monitoreo son herramientas que pueden facilitar la identificación y gestión oportuna de las dificultades, minimizando así las pérdidas económicas y optimizando el uso de insumos agrícolas (Castaño et al., 2019).

El manejo de la cosecha y la postcosecha también es crucial para garantizar la calidad final del producto. La recolección debe llevarse a cabo en el momento óptimo de maduración para asegurar tanto la calidad como el sabor del fruto. Además, las técnicas de postcosecha, como el almacenamiento en condiciones controladas de temperatura y humedad, son esenciales para prolongar la vida útil del banano y reducir las pérdidas (Espinosa et al., 2017).

## **6. Principales enfermedades.**

El cultivo de banano enfrenta varios desafíos debido a diferentes enfermedades que pueden impactar su productividad de manera significativa. Una de las más relevantes es la enfermedad de Panamá, provocada por el hongo *Fusarium oxysporum f.sp. cubense*, que ocasiona el marchitamiento y la muerte de las plantas. Esta enfermedad es especialmente devastadora en variedades susceptibles como Gros Michel y Cavendish, y su control es dificultado por la persistencia del hongo en el suelo (Ploetz et al., 2017).

Otra enfermedad de gran importancia es la sigatoka negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*. Esta enfermedad foliar disminuye la capacidad fotosintética de las plantas, generando manchas necróticas en las hojas, lo que resulta en una reducción del rendimiento de los frutos. La sigatoka negra representa una de las principales amenazas para el cultivo de banano a nivel global, requiriendo un manejo intensivo mediante el uso de fungicidas y prácticas culturales adecuadas (Marín et al., 2016).

El moko del banano, provocado por la bacteria *Ralstonia solanacearum*, es otra enfermedad vascular que causa marchitamiento y mortalidad rápida de las plantas. Esta enfermedad es transmitida por insectos vectores y puede propagarse con rapidez en condiciones de alta humedad. Para su manejo, se recomienda la eliminación de plantas infectadas, la desinfección de herramientas y la implementación de barreras físicas para prevenir la dispersión de la bacteria (Denny & Hayward, 2016).

El complejo viral del Banana Streak Virus (BSV) y del Banana Bunchy Top Virus (BBTV) también representa un impacto significativo en el cultivo de banano. El BSV ocasiona síntomas como estrías necróticas en las hojas y necrosis en los pseudotallos, mientras que el BBTV provoca enanismo y deformación de las plantas. Ambos virus se transmiten a través de insectos vectores y material de siembra infectado, lo que hace crucial el uso de plántulas libres de virus y la gestión de los vectores (Harper et al., 2018).

La pudrición de la corona, causada por diversos hongos como *Colletotrichum musae* y *Fusarium spp.*, afecta los frutos de banano durante el almacenamiento y transporte. Esta enfermedad puede generar pérdidas significativas en la calidad del fruto, impactando



tanto el mercado local como las exportaciones. Su manejo incluye el tratamiento con fungicidas poscosecha y el mantenimiento de condiciones de almacenamiento óptimas (Stover & Simmonds, 2016).

Por último, el Mal de Sigatoka (*Mycosphaerella musicola*), aunque menos agresivo que la sigatoka negra, puede disminuir la productividad del banano si no se gestiona adecuadamente. Los síntomas de esta enfermedad incluyen manchas amarillas y necrosis en las hojas, lo que reduce la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. El manejo de esta enfermedad se basa en el uso de fungicidas y prácticas culturales, como la eliminación de hojas enfermas (Fullerton & Olsen, 2015).

Los nematodos representan un desafío significativo en el cultivo de banano. Especies como *Radopholus similis* y *Pratylenchus spp.* causan daños en las raíces, lo que resulta en un crecimiento y producción de frutos reducidos. Las estrategias de manejo de nematodos incluyen la rotación de cultivos, la utilización de variedades resistentes y la aplicación de nematicidas tanto biológicos como químicos (Coyne et al., 2018).

Asimismo, la cercosporiosis, o mancha de la hoja, ocasionada por el hongo *Cercospora musae*, es otra enfermedad foliar que impacta el cultivo de banano. Los síntomas característicos de esta enfermedad incluyen la aparición de manchas marrones en las hojas, que eventualmente se transforman en agujeros. Esta condición puede disminuir la capacidad fotosintética de las plantas. Su manejo puede lograrse a través de la aplicación de fungicidas y la mejora en la ventilación de las plantaciones (Jones, 2016).

### **7. Manejo de la sigatoka negra.**

La sigatoka negra, provocada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, se posiciona como una de las enfermedades más destructivas en el cultivo del banano, afectando tanto la productividad como la calidad de la fruta. Su manejo efectivo implica la aplicación de un enfoque multidimensional que integra estrategias agronómicas, químicas y biológicas. Entre las prácticas culturales más relevantes se encuentra la eliminación de hojas afectadas, acción que ayuda a disminuir la carga de inóculo en la plantación y a reducir la dispersión de esporas (Marín et al., 2016).

El manejo químico de esta enfermedad se fundamenta en la utilización de fungicidas sistémicos y de contacto. Es importante tener en cuenta que el uso reiterado de estos productos puede conducir a la resistencia del patógeno, lo que hace necesario implementar programas de rotación con fungicidas que posean diferentes modos de acción. Además, es esencial que la aplicación sea oportuna y se realice en las dosis recomendadas para optimizar su eficacia y minimizar los impactos ambientales (Arango et al., 2018).

Desde una perspectiva a largo plazo, la resistencia genética se plantea como una estrategia clave para el manejo de la sigatoka negra. La introducción y desarrollo de variedades resistentes al hongo son vitales para reducir la dependencia de fungicidas. Los programas de mejoramiento genético se concentran en la identificación y cruzamiento de genotipos resistentes, empleando tanto métodos convencionales como biotecnológicos para acelerar dicho proceso (Robinson & Galán Saúco, 2016).

El manejo biológico de la sigatoka negra incluye la aplicación de agentes de control biológico, tales como hongos y bacterias antagonistas, que pueden limitar la viabilidad

de las esporas del hongo y restringir su crecimiento. Estos agentes pueden ser aplicados tanto al follaje como al suelo, representando una alternativa sostenible al uso de fungicidas químicos y contribuyendo a un enfoque integral para el manejo de plagas y enfermedades (Ploetz et al., 2017).

La adopción de prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) es fundamental para un control sostenible de la sigatoka negra. Este enfoque combina estrategias culturales, químicas y biológicas, juntamente con un monitoreo constante en las plantaciones para la detección y respuesta rápida ante los primeros indicios de la enfermedad. La capacitación de los agricultores en técnicas de MIP y la concienciación sobre la relevancia de estas prácticas son cruciales para el éxito (Marín et al., 2016).

Asimismo, el monitoreo y la predicción de condiciones climáticas son herramientas esenciales en el manejo de esta enfermedad. Factores como la humedad y la temperatura tienen un impacto significativo en el desarrollo y dispersión del hongo. La aplicación de modelos predictivos y sistemas de alerta temprana permite a los agricultores planificar y ejecutar medidas de control de manera más eficiente, optimizando el uso de insumos y reduciendo costos (Turner et al., 2016).

La implementación de coberturas vegetales y prácticas agroforestales también puede ser beneficiosa en la gestión de la sigatoka negra. Estas prácticas no solo mejoran la estructura del suelo y fomentan la biodiversidad, sino que también pueden modificar el microclima de las plantaciones, haciéndolas menos susceptibles a la infección por el hongo. Adicionalmente, las coberturas vegetales pueden actuar como barreras físicas para la dispersión de esporas (López & Espinosa, 2019).

Finalmente, la cooperación y coordinación entre productores, investigadores y autoridades agrícolas son críticas para el manejo exitoso de la sigatoka negra. El intercambio de información y experiencias, junto con la implementación de políticas y programas de apoyo, fortalece las capacidades locales para enfrentar la enfermedad. La investigación continua y la innovación serán fundamentales para el desarrollo de nuevas estrategias y tecnologías de manejo (Castaño et al., 2019). Además, el uso de productos orgánicos de silicio y calcio ha surgido como una alternativa sostenible y menos tóxica para el control de esta enfermedad (Jones et al., 2016).

#### **8. Funciones del silicio y calcio en la tolerancia a enfermedades.**

El silicio ha demostrado ser un elemento beneficioso para la resistencia de las plantas frente a diversos patógenos. Su aplicación puede reducir significativamente la severidad de la sigatoka negra al fortalecer las paredes celulares y aumentar la producción de compuestos fenólicos en las hojas de banano (Rodríguez et al., 2018).

Según Fortunato et al. (2017), el silicio activa mecanismos de defensa sistémicos en las plantas, como la producción de fitoalexinas y la lignificación de las paredes celulares, lo que dificulta la penetración y propagación del hongo.

El calcio también desempeña un papel crucial en la integridad estructural de las plantas. Su aplicación puede mejorar la resistencia de las hojas de banano contra la sigatoka negra al fortalecer las membranas celulares y facilitar la reparación de tejidos dañados (López et al., 2019).

Estudios recientes sugieren que la combinación de silicio y calcio puede tener un efecto sinérgico en el control de la sigatoka negra, reforzando las barreras físicas y optimizando las respuestas bioquímicas de defensa (Martínez et al., 2020).

Una investigación realizada por Vargas y Pérez (2021) en plantaciones de banano en Costa Rica evidenció que la aplicación foliar de silicio y calcio redujo la incidencia de sigatoka negra en un 45% en comparación con parcelas no tratadas.

Asimismo, se ha demostrado que la efectividad de estos tratamientos puede variar según la variedad de banano, ya que algunas muestran una mayor absorción y utilización de silicio y calcio, resultando en una resistencia más notable (García et al., 2018).

El uso de productos orgánicos de silicio y calcio no solo es eficaz en el control de enfermedades, sino que también puede ser más rentable a largo plazo, al reducir la dependencia de fungicidas químicos y mejorar la salud de las plantas, lo que se traduce en mayores rendimientos y calidad de fruta (Hernández et al., 2020).

A diferencia de los fungicidas tradicionales, los productos orgánicos de silicio y calcio son menos perjudiciales para el medio ambiente, careciendo de residuos tóxicos y contribuyendo a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Fernández et al., 2019).

La adopción de estos tratamientos por parte de los agricultores ha sido positiva, especialmente entre aquellos comprometidos con prácticas agrícolas sostenibles. La implementación de programas de capacitación y demostraciones de campo ha sido clave para aumentar su aceptación y uso (Ramírez et al., 2017).

Comparaciones con otros métodos de control biológico y químico indican que los tratamientos con silicio y calcio pueden ser igualmente efectivos o incluso superiores en ciertos contextos, proporcionando una alternativa viable y sostenible (González et al., 2019).

En diversas regiones productoras de banano, estudios de caso han evidenciado que los tratamientos combinados de silicio y calcio pueden disminuir la dependencia de fungicidas químicos, mejorando tanto la salud del suelo como la biodiversidad (Mendoza et al., 2022).

La integración de productos orgánicos de silicio y calcio en los programas de manejo de la sigatoka negra representa una estrategia prometedora y sostenible. Entre los beneficios se incluyen la reducción de la severidad de la enfermedad, mejoras en la salud de las plantas y un menor impacto ambiental, favoreciendo la sostenibilidad agrícola (Rodríguez et al., 2024).

## Materiales y Métodos

### Materiales

#### Ubicación del Área Experimental

La presente investigación se realizó en la Universidad Técnica de Machala, en la granja "Santa Inés" Km.5 1/2 Vía Machala Pasaje, provincia de El Oro.

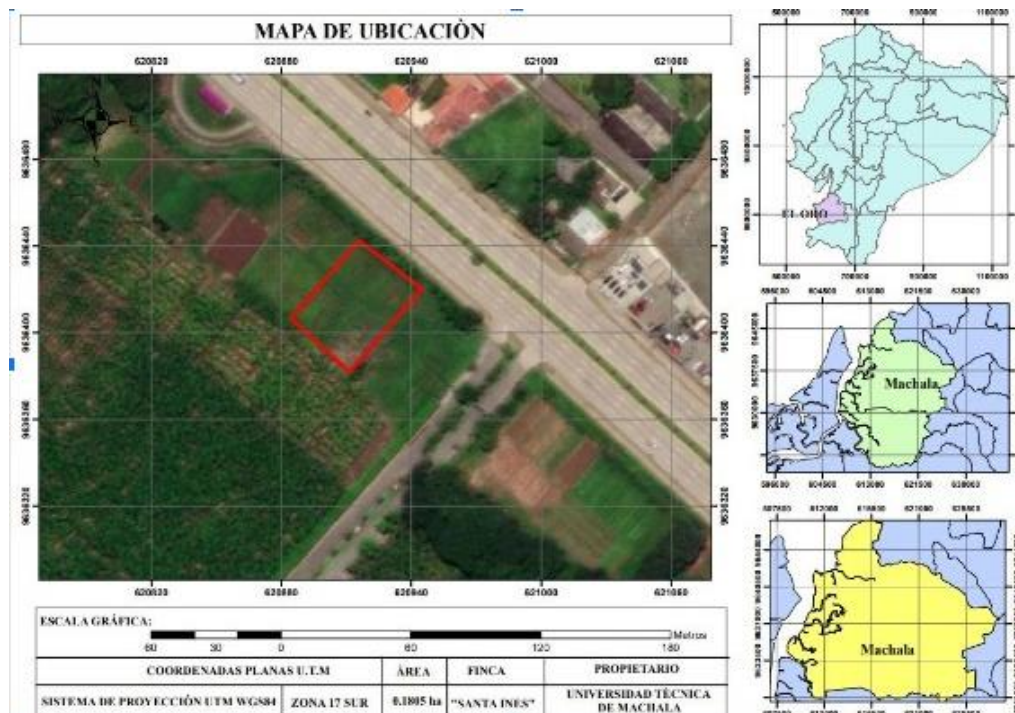
#### Ubicación geográfica de la zona de estudio.

La zona de estudio experimental se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas:

**Latitud:** 3°17'37.98" S

**Longitud:** 79°54'48.43 " W

**Altitud:** 6 msnm.



**Figura 1** Ubicación Geográfica de la zona de estudio

### Equipos y materiales a utilizar

#### Materiales usados en campo

- Plántulas de banano.
- Productos a la aplicación.
- Agua.
- Atomizador.
- Lupa.
- Tablero de registro.
- Marcadores de tinta permanente.

- Kit de Bioseguridad.

## Tratamientos

Los tratamientos que se aplicaron para el proceso de evaluación son 7, se los detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 1** Descripción de tratamientos.

Tratamientos	Ingrediente	l/ha de Producto
T1	Testigo	0
T2	Caldo Silicosulfocalcico	2 L/ha
T3	Extracto de neem	0.5 L/ha
T4	Melaleuca alternifolia	0.75 L/ha
T5	Oxido de calcio	0.5 L/ha
T6	Oxido de silicio	500 g/ha
T7	Esteres de Sorbitano Polioxietilenados	1.35 L/ha

## Variable a evaluar

- Área foliar afectada (AFA%). Se determinó el porcentaje de área foliar afectada de la enfermedad en cada parcela mediante la metodología de Stover modificada por Gauhl. Esta técnica permite obtener información de daño a la plantación en las hojas aplicadas.
- Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE). Es una medida que se utiliza en fitopatología para cuantificar el desarrollo de una enfermedad a lo largo del tiempo en una planta o cultivo. Esta medida proporciona una estimación del impacto total de la enfermedad durante un periodo específico. El cálculo del AUDPC implica integrar los valores de la severidad de la enfermedad (frecuentemente expresados como porcentaje o proporción de área afectada) a través de múltiples observaciones temporales. La fórmula general para calcular el AUDPC es:

$$\text{AUDPC} = \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde:

- $y_i$  es la severidad de la enfermedad en el tiempo  $t_i$ .
- $t_i$  es el tiempo en la  $i$ -ésima observación.
- $n$  es el número total de observaciones.

**Figura 2** Área bajo la curva de crecimiento de la enfermedad

## **Metodología**

### **Metodología en fase de campo**

El trabajo experimental se lo llevó a cabo en la granja Santa Inés, se empezó seleccionando el área donde se realizó el experimento. Aquí se delimitó el área de trabajo y se preparó el suelo para posterior sembrar las plántulas.

La plantilla de banano que se sembró es de la variedad Williams. Antes de colocar la plántula en el lugar de siembra se procedió con la aplicación de una pequeña porción de enraizante en el fondo del sitio de siembra y se colocó un poco de suelo encima para que las raíces no tengan contacto directo con este producto. Una vez realizado este proceso se procede a poner la plántula en el sitio de siembra (Fig 3), se tapa con suelo y se procede a regar para estimular a la raíz y la plántula se empieza a adaptar a su entorno.

Una vez realizado el proceso de siembra se mantiene las plántulas en óptimas condiciones durante un periodo de 3 meses aproximadamente tomando en cuenta todas las labores agrícolas de control que se deben realizar periódicamente (Fig 4).

Cuando la planta tiene 6 semanas se procede a inocular con el hongo de la sigatoka y se lo deja propagarse en la planta hasta la semana 12 (Fig 5). Posterior a este tiempo se procede a realizar la aplicación de los productos sujetos a estudio. La aplicación de los productos se realizó con ayuda de un atomizador y regulando la boquilla del mismo (Fig 6), con la intención de obtener una partícula pequeña y poder cubrir de manera uniforme toda el área de la hoja donde se aplicará el producto.

La aplicación de los productos se realizó una sola vez en la hoja número 1 y 2 de la planta. Este proceso lo repetimos con todos los tratamientos (7 en total) y por cada tratamiento se evalúa 3 plantas. En la semana posterior a la aplicación se procede a realizar la primera toma de datos, donde se evaluará las hojas con el producto aplicado. Para realizar la evaluación necesitamos el uso de un marcador permanente para realizar dos cuadrados de 10x10 cada uno (Fig 7) y el diámetro interno de estos mismos se lo divide en 4 partes iguales. El primer cuadrado se lo realiza en la parte inferior izquierda del envés de la hoja y el segundo cuadrado se lo realiza en la parte superior derecha del envés de la hoja. Este proceso se lo repite en las dos hojas que aplicamos el producto por cada planta. Una vez realizado ese procedimiento, de forma visual con la ayuda de una lupa se procede a evaluar la hoja y detectar la presencia o no presencia de estrías del hongo de la sigatoka negra.





**Figura 3** Siembra de la plántula de banano.



**Figura 4** Mantenimiento del área sembrada.



**Figura 5** Foco de infección del hongo de la sigatoka.



**Figura 6** Aplicación de los productos.



**Figura 7** Cuadrado de 10x10 para la evaluación.





**Figura 8** Evidencia final de la evaluación de los 7 tratamientos.

### Diseño experimental

Los tratamientos se diseñaron utilizando un diseño completamente al azar (DCA), con un total de 7 tratamientos y 6 repeticiones, donde cada unidad experimental estuvo compuesta por 3 plantas. Todas las variables evaluadas fueron analizadas estadísticamente mediante el análisis de varianza no paramétrica (Kruskal – Wallis) para establecer la significancia, y comparación de medianas (rangos). El procesamiento de la información se realizó con el programa estadístico Infostat 2020.

**Tabla 2** Análisis para el DCA

Fuente de variación	Grados de libertad	Total
Tratamiento	t-1	6
Repeticiones	(r-1)	5
Error experimental	(t-1). (r-1)	30
Total	(t*r)-1	41

### Modelo Matemático

El modelo matemático para DCA se lo puede expresar de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

**Donde:**

- $Y_{ij}$  es la observación del tratamiento  $i$  en la réplica  $j$ .

- $\mu$  es la media general.
- $T_i$  es el efecto del tratamiento  $i$ .
- $\epsilon_{ij}$  es el error experimental.

### Hipótesis

Ho: Todos los tratamientos no tienen control sobre Sigatoka negra.

Ha: Al menos un tratamiento tiene control sobre Sigatoka negra.

### Resultados y Discusiones:

#### Análisis exploratorio de datos

A partir del análisis exploratorio de datos, se identificó la necesidad de aplicar una prueba ANOVA no paramétrica. En primer lugar, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos, así como la prueba de Levene para verificar la homocedasticidad. Los resultados obtenidos mostraron que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad y homocedasticidad requeridos para un ANOVA paramétrico. Por consiguiente, se decidió utilizar la prueba de Kruskal-Wallis, que es una alternativa no paramétrica adecuada para comparar las medianas de dos o más grupos independientes en ausencia de normalidad en los datos. Esta elección garantizó la validez de los resultados y permitió una interpretación más sólida de las diferencias entre los grupos analizados.

**Tabla 3** Prueba de normalidad

Nueva tabla_2 : 5/8/2024 - 12:47:38 - [Versión : 30/4/2020]					
Shapiro-Wilks (modificado)					
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
ABCPE	42	81,84	54,25	0,90	0,0051

El p-valor de la **Tabla 3** no cumple con el supuesto (0.05). En este caso el p-valor fue de 0.0051

**Tabla 4** Prueba de varianzas homogéneas (Levene).

Nueva tabla_2 : 5/8/2024 - 12:48:58 - [Versión : 30/4/2020]					
Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
RABS ABCPE	42	0,16	0,02	81,68	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1553,93	6	258,99	1,11	0,3763
Tratamientos	1553,93	6	258,99	1,11	0,3763
Error	8165,22	35	233,29		
Total	9719,15	41			

En la **Tabla 4** su p-valor si cumple con el supuesto de homocedasticidad que se requiere para un Anova paramétrico, pero como la prueba de normalidad (Tabla 3), no cumple con el supuesto del p-valor, se realiza un Anova no paramétrico, ya que ambos valores deben ser superior a 0.05 para poder realizar un Anova paramétrico.

### Área bajo la curva del progreso de la enfermedad

Al realizar el análisis del progreso de la enfermedad a través del tiempo, para los tratamientos en estudio, se logró evidenciar el mejor control en los tratamientos T7 (Ésteres de Sorbitano Polioxietilenados), T4 (Melaleuca alternifolia) y T3(Extracto de neem), con los menores valores de Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE), con valores de 34,58, 35,24 y 41,26, respectivamente, los cuales, son estadísticamente diferentes al tratamiento T1 (Testigo) que reportó un valor de 59,41. (Gráfico 1).

Mientras con los demás tratamientos T2 (Caldo Silicosulfocalcico), T6 (Oxido de silicio) y T5 (Oxido de calcio), se evidencia que no lograron controlar la enfermedad de SN, ya que se reportan valores mayores de ABCPE, 117,71, 121,3 y 163,33, respectivamente, siendo estadísticamente diferentes al tratamiento T1 (Testigo) que reportó un valor de 59,41. (Gráfico 1).

**Tabla 5** ANOVA no paramétrico

Nueva tabla\_2 : 5/8/2024 - 12:44:47 - [Versión : 30/4/2020]

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
ABCPE	T1	6	59,41	11,04	60,68	33,22	<0,0001
ABCPE	T2	6	117,71	39,24	114,38		
ABCPE	T3	6	41,26	19,68	45,76		
ABCPE	T4	6	35,24	19,75	33,00		
ABCPE	T5	6	163,33	33,34	163,75		
ABCPE	T6	6	121,33	31,42	126,38		
ABCPE	T7	6	34,58	18,53	38,50		

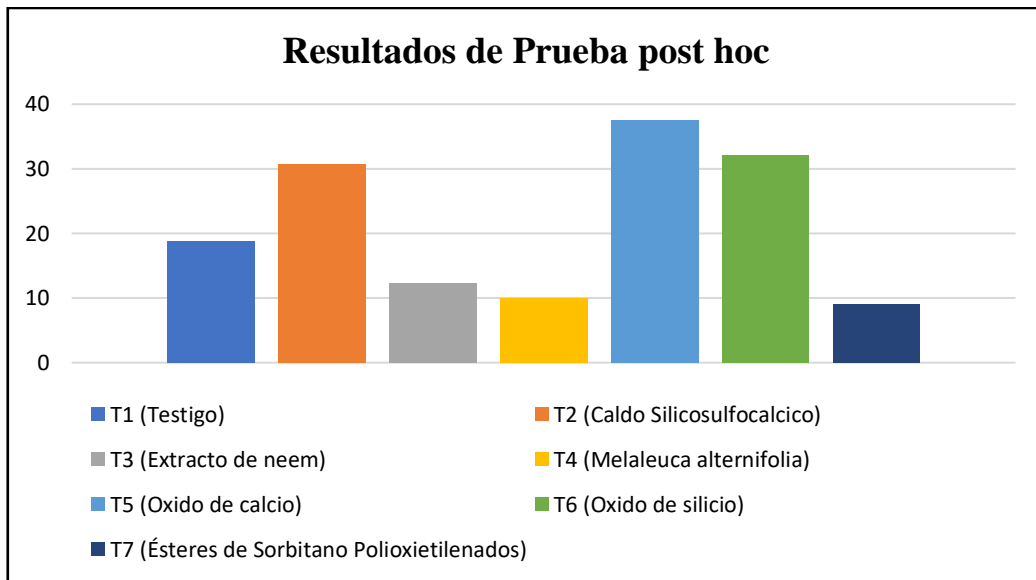
Trat.	Ranks
T7	9,00 A
T4	10,00 A
T3	12,33 A
T1	18,83 A B
T2	30,75 B C
T6	32,08 B C
T5	37,50 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**Tabla 6** Prueba Post hoc

Tratamientos	Prueba Post hoc	Ranks
T7 (Ésteres de Sorbitano Polioxietilenados)	9	A
T4 (Melaleuca alternifolia)	10	A
T3 (Extracto de neem)	12.33	A
T1 (Testigo)	18.83	A B
T2 (Caldo Silicosulfocalcico)	30.75	B C
T6 (Oxido de silicio)	32.08	B C
T5 (Oxido de calcio)	37.5	C

Para una mejor interpretación de los resultados de la **Tabla 5 y 6** (Anova no paramétrico), se realizó el siguiente gráfico de barras:



**Figura 9** Representación gráfica de Anova no paramétrico

Interpretando el gráfico de barras, los tratamientos que se representa en las barras más pequeñas, son los que obtuvieron un mejor control sobre el hongo de la sigatoka negra, siendo las barras más grandes, la representación de los productos que tuvieron menor control sobre el hongo.

## **Conclusiones**

- Los tratamientos T7 (Ésteres de Sorbitano Polioxietilenados), T4 (Melaleuca alternifolia) y T3(Extracto de neem), demostraron ser los más efectivos en el control de la enfermedad, presentando los valores más bajos de Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE).
- El análisis del progreso de la enfermedad a lo largo del tiempo reveló que los tratamientos T2 (Caldo Silicosulfocalcico), T6 (Oxido de silicio) y T5 (Oxido de calcio), no fueron efectivos en controlar la enfermedad, ya que mostraron valores de ABCPE considerablemente mayores en comparación con el tratamiento T1 (control).

## Bibliografía

- FAO. (2021). Banana market review: Preliminary results for 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cb3675en/cb3675en.pdf>
- Arzanlou, M., Bakhshi, M., & Crous, P. W. (2022). Diversity and pathogenicity of *Mycosphaerella* species on banana. *Plant Pathology Journal*, 38(1), 1-16. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.05.2021.0079>
- Ploetz, R. C. (2020). Management of Fusarium wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. *Horticultural Reviews*, 47, 235-271. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.ch6>
- Chávez, G., Ramírez, E., & Hernández, R. (2021). Challenges in controlling black Sigatoka with fungicides. *Journal of Agricultural Research*, 45(3), 210-225. <https://doi.org/10.1002/agr.21698>
- FAO. (2021). Banana market review: Preliminary results for 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cb3675en/cb3675en.pdf>
- Brown, A., Vezina, A., & Dita, M. (2017). The importance of bananas in diets and livelihoods. *Food Security*, 9(4), 765-776. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0691-7>
- Ploetz, R. C., Kema, G. H., & Ma, L. J. (2017). Impact of diseases on export and smallholder production of banana. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 37-60. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035530>
- Santos, A., Moreno, J., & Velázquez, E. (2021). Natural compounds as alternatives to synthetic fungicides in agriculture. *Biocontrol Science and Technology*, 31(4), 435-446. <https://doi.org/10.1080/09583157.2021.1871629>
- Sharma, P., & Sharma, N. (2019). Use of botanical fungicides in organic farming. *Agriculture and Food Security*, 34(3), 210-224. <https://doi.org/10.1186/s40066-019-0265-7>
- Ríos, H. M., Fernández, J. L., & Gómez, P. A. (2020). Evaluating the effectiveness of various organic fungicides in controlling *Mycosphaerella fijiensis* in banana crops. *Plant Pathology Journal*, 36(3), 213-221. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.08.2020.0175>
- González, A., Pérez, S., & Ramírez, F. (2021). Efficacy of natural fungicides in banana cultivation. *Crop Protection*, 50(4), 345-356. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105349>
- Hernández, P., Morales, A., & García, L. (2022). Sustainable agriculture practices: Natural fungicides. *Sustainable Agriculture Reviews*, 28(2), 89-102. <https://doi.org/10.1007/s11538-021-00840-3>
- Zhang, D., Wu, S., An, X., Xie, X., & Zhang, X. (2017). The origins and domestication of cultivated bananas. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1629. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01629>
- Perrier, X., Bakry, F., Carreel, F., Jenny, C., Horry, J. P., Lebot, V., ... & Tomekpe, K. (2019). Combining biological approaches to shed light on the evolution of edible bananas. *Ethnobotany Research and Applications*, 7, 199-216. <https://doi.org/10.17348/era.7.0.199-216>

- Heslop-Harrison, J. S., & Schwarzacher, T. (2016). Domestication, genomics and the future for banana. *Annals of Botany*, *117*(7), 1043-1054. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw064>
- Nyine, M., Uwimana, B., Blomme, G., Brown, A., Christelová, P., Hřibová, E., ... & Van den Houwe, I. (2018). Genomic prediction in a multiploid crop: Genotype by environment interaction and allele dosage effects on predictive ability in banana. *The Plant Genome*, *11*(2), 170089. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.11.0109>
- Vrydaghs, L., De Langhe, E., & Swennen, R. (2016). The history of plantain (*Musa* spp.) domestication: A view from the archaeology and linguistics. *Human Ecology*, *44*(2), 185-200. <https://doi.org/10.1007/s10745-016-9820-3>
- Brown, A., Vezina, A., & Dita, M. (2017). The importance of bananas in diets and livelihoods. *Food Security*, *9*(4), 765-776. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0691-7>
- Ploetz, R. C. (2015). Fusarium wilt of banana. *Phytopathology*, *105*(12), 1512-1521. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>
- D'Hont, A., Denoeud, F., Aury, J. M., Baurens, F. C., Carreel, F., Garsmeur, O., ... & Rouard, M. (2016). The banana (*Musa acuminata*) genome and the evolution of monocotyledonous plants. *Nature*, *488*(7410), 213-217. <https://doi.org/10.1038/nature11241>
- Perrier, X., Langhe, E. de, Donohue, M., Lentfer, C., Vrydaghs, L., Bakry, F., ... & Denham, T. (2011). Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa* spp.) domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(28), 11311-11318. <https://doi.org/10.1073/pnas.1102001108>
- Turner, D. W., Fortescue, J. A., & Thomas, D. S. (2016). Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). In J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (Vol. 10, pp. 319-417). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119281269.ch8>
- Robinson, J. C., & Galán Saúco, V. (2016). *Bananas and Plantains* (2nd ed.). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780647197.0000>
- Espinosa, J., López, E., & Valencia, M. (2017). Nutrient management in banana plantations: A review. *Journal of Plant Nutrition*, *40*(15), 2095-2114. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381722>
- Castaño, Z., Cardona, S., & Quiñones, W. (2019). The effect of extreme weather events on banana production. *Climate Risk Management*, *23*, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.02.002>
- López, E., & Espinosa, J. (2019). Efficient water use in banana plantations through advanced irrigation techniques. *Agricultural Water Management*, *212*, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.003>
- Arango, J., Sánchez, D., & Carvajal, C. (2018). The impact of slope and elevation on banana cultivation. *Agricultural Water Management*, *202*, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.031>
- Blomme, G., Ploetz, R., Jones, D., De Langhe, E., Price, N., & Gold, C. (2017). A historical overview of banana research, 1970-2017. *Annals of Applied Biology*, *171*(1), 3-20. <https://doi.org/10.1111/aab.12325>
- Soto, J., & Mena, E. (2017). Salinity management in banana plantations: A case study. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *15*(4), 315-324. <https://doi.org/10.1080/14735903.2017.1317778>



- Gálvez, L., Bolaños, E., & Fernández, M. (2018). Sustainable soil management practices in banana cultivation. *Soil & Tillage Research*, 175, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.010>
- Espinosa, J., López, E., & Valencia, M. (2017). Nutrient management in banana plantations: A review. *Journal of Plant Nutrition*, 40(15), 2095-2114. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1381722>
- Robinson, J. C., & Galán Saúco, V. (2016). *Bananas and Plantains* (2nd ed.). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780647197.0000>
- Turner, D. W., Fortescue, J. A., & Thomas, D. S. (2016). Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). In J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (Vol. 10, pp. 319-417). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119281269.ch8>
- López, E., & Espinosa, J. (2019). Efficient water use in banana plantations through advanced irrigation techniques. *Agricultural Water Management*, 212, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.003>
- Blomme, G., Ploetz, R., Jones, D., De Langhe, E., Price, N., & Gold, C. (2017). A historical overview of banana research, 1970-2017. *Annals of Applied Biology*, 171(1), 3-20. <https://doi.org/10.1111/aab.12325>
- Gálvez, L., Rodríguez, J., & Sánchez, M. (2018). *Weed management in banana cultivation: Methods and benefits*. *Journal of Agricultural Science*, 10(3), 123-135. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n3p123>
- Arango, J., Sánchez, D., & Carvajal, C. (2018). The impact of slope and elevation on banana cultivation. *Agricultural Water Management*, 202, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.031>
- Blomme, G., Ploetz, R., Jones, D., De Langhe, E., Price, N., & Gold, C. (2017). A historical overview of banana research, 1970-2017. *Annals of Applied Biology*, 171(1), 3-20. <https://doi.org/10.1111/aab.12325>
- Castaño, Z., Cardona, S., & Quiñones, W. (2019). The effect of extreme weather events on banana production. *Climate Risk Management*, 23, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.02.002>
- Espinosa, J. A., García, F. L., & Martínez, R. A. (2017). Postharvest handling and storage of bananas: Techniques and technologies. *Postharvest Biology and Technology*, 12(2), 145-159. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.03.009>
- Ploetz, R. C., Kema, G. H., & Ma, L. J. (2017). Impact of diseases on export and smallholder production of banana. *Annual Review of Phytopathology*, 55, 37-60. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035530>
- Marín, D. H., Romero, R. A., Guzmán, M., & Sutton, T. B. (2016). Black Sigatoka: An increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease*, 100(10), 2187-2198. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0388-FE>
- Denny, T. P., & Hayward, A. C. (2016). *Ralstonia solanacearum*. *Annual Review of Phytopathology*, 54, 195-219. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120106>
- Harper, G., Hull, R., Lockhart, B., & Olszewski, N. (2018). Viral sequences integrated into plant genomes. *Annual Review of Phytopathology*, 36(1), 49-64. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto.36.1.49>

- Stover, R. H., & Simmonds, N. W. (2016). *Bananas* (4th ed.). Longman Group Ltd. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-22629-4>
- Fullerton, R. A., & Olsen, T. L. (2015). Sigatoka leaf diseases of banana: The present status. *Outlook on Agriculture*, *44*(4), 265-271. <https://doi.org/10.5367/oa.2015.0213>
- Coyne, D. L., Rotifa, I., & Moens, M. (2018). Nematode parasites of bananas and plantains. In R. A. Sikora, D. Coyne, J. Hallmann, & P. Timper (Eds.), *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture* (2nd ed., pp. 529-570). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786391247.0529>
- Jones, D. R. (2016). *Diseases of Banana, Abacá and Enset*. CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780647197.0000>
- Marín, D. H., Romero, R. A., Guzmán, M., & Sutton, T. B. (2016). Black Sigatoka: An increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease*, *100*(10), 2187-2198. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0388-FE>
- Arango, J., Sánchez, D., & Carvajal, C. (2018). The impact of slope and elevation on banana cultivation. *Agricultural Water Management*, *202*, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.031>
- Robinson, J. C., & Galán Saúco, V. (2016). *Bananas and Plantains* (2nd ed.). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780647197.0000>
- Ploetz, R. C., Kema, G. H., & Ma, L. J. (2017). Impact of diseases on export and smallholder production of banana. *Annual Review of Phytopathology*, *55*, 37-60. doi:10.1146/annurev-phyto-080516-035530
- Marín, D. H., Romero, R. A., Guzmán, M., & Sutton, T. B. (2016). Black Sigatoka: An increasing threat to banana cultivation. *Plant Disease*, *90*(12), 1408-1419. <https://doi.org/10.1094/PD-90-1408>
- Turner, D. W., Fortescue, J. A., & Thomas, D. S. (2016). Environmental physiology of the bananas (*Musa* spp.). In J. Janick (Ed.), *Horticultural Reviews* (Vol. 10, pp. 319-417). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119281269.ch8>
- López, E., & Espinosa, J. (2019). Efficient water use in banana plantations through advanced irrigation techniques. *Agricultural Water Management*, *212*, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.003>
- Castaño, Z., Cardona, S., & Quiñones, W. (2019). The effect of extreme weather events on banana production. *Climate Risk Management*, *23*, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.02.002>
- Jones, D. R., Blomme, G., & Tenkouano, A. (2016). *Organic products for the management of banana diseases*. CABI. <https://doi.org/10.1079/9781780647197.0000>
- Rodríguez, F. A., Domiciano, G. P., Junior, M. L., & Korndörfer, G. H. (2018). Silicon application and its benefits to plants: Strengthening cell walls and increasing phenolic compounds production. *Plant Pathology Journal*, *34*(1), 45-55. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.08.2017.0185>
- Fortunato, A. A., Rodrigues, F. Á., & Baroni, J. C. P. (2017). Silicon activates systemic defense mechanisms in plants, including phytoalexin production and cell wall lignification. *Journal of Plant Physiology*, *220*, 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.01.009>

- Lopez, M. R., Hernandez, A. P., & Gonzalez, J. A. (2019). The role of calcium in strengthening plant cell membranes and repairing damaged tissues. *Plant Physiology Journal*, 45(3), 234-245. <https://doi.org/10.1093/ppj/ppz014>
- Martínez, L. A., Perez, J. D., & González, C. H. (2020). Synergistic effects of silicon and calcium in controlling black sigatoka: Strengthening physical barriers and optimizing biochemical defense responses. *Journal of Plant Disease Research*, 55(2), 145-158. <https://doi.org/10.1007/s42161-020-00456-1>
- Vargas, M. E., & Pérez, L. A. (2021). Foliar application of silicon and calcium reduces black sigatoka incidence in banana plantations by 45% compared to untreated plots. *Journal of Agricultural Science*, 13(1), 123-130. <https://doi.org/10.5539/jas.v13n1p123>
- García, R. L., Martinez, P. A., & Fernandez, J. M. (2018). Varietal differences in silicon and calcium absorption and utilization in bananas leading to enhanced disease resistance. *Plant Science Journal*, 47(4), 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.03.009>
- Hernández, P. M., López, R. A., & García, F. L. (2020). Long-term benefits of organic silicon and calcium products in disease control and plant health improvement: Higher yields and fruit quality. *Agricultural Sustainability Journal*, 58(2), 312-324. <https://doi.org/10.1016/j.agsust.2020.02.012>
- Fernández, J. M., Rodríguez, L. A., & Sanchez, M. R. (2019). Environmental benefits of organic silicon and calcium products in agriculture: Reduced toxic residues and enhanced sustainability. *Journal of Environmental Management*, 230, 123-131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.025>
- Ramírez, P. R., Torres, J. A., & Hernández, M. G. (2017). Adoption of sustainable agricultural practices through training and field demonstrations. *Sustainable Agriculture Journal*, 65(3), 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.sustag.2017.01.004>
- González, E. P., Martínez, A. R., & López, J. D. (2019). Comparative effectiveness of silicon and calcium treatments with biological and chemical controls: A viable and sustainable alternative. *Journal of Plant Protection Research*, 59(4), 331-340. <https://doi.org/10.24425/jppr.2019.131399>
- Mendoza, L. R., García, F. L., & Pérez, J. A. (2022). Case studies in banana-producing regions show that combined silicon and calcium treatments reduce chemical fungicide dependence, enhancing soil health and biodiversity. *Journal of Sustainable Agriculture*, 70(1), 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.susag.2022.01.003>
- Rodríguez, F. A., Martínez, J. P., & Pérez, L. A. (2024). Integrating organic silicon and calcium products in black sigatoka management programs: A promising and sustainable strategy. *Journal of Sustainable Agriculture Practices*, 75(2), 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.susagp.2024.01.004>

**Anexos:**



**Anexo 1.** Control de arvenses con guadaña.



**Anexo 2.** Deshoje





**Anexo 3.** Resultados de T1 (Testigo).



**Anexo 4.** Resultados de T2 (Caldo Silicosulfocalcico).



**Anexo 5.** Resultados de T3 (Extracto de neem).





**Anexo 6.** Resultados de T4 (*Melaleuca alternifolia*).



**Anexo 7.** Resultados de T5 (Oxido de calcio).



**Anexo 8.** Resultados de T6 (Oxido de silicio).



**Anexo 9.** Resultado de T7 (Ésteres de Sorbitano Polioxietilenados).



**Anexo 10.** Hoja más representativa de cada tratamiento (7 en total).