

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

**EVALUACIÓN IN SITU DE INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE 2 IA
SISTÉMICOS QUÍMICOS (PROPICONAZOLE Y TEBICONAZOLE) Y 2
IA DE MICROORGANISMOS PARA EL CONTROL DE SIGATOKA
NEGRA (*Mycospharella Fijiensis*) EN BANANO (*Musa Aaa*)**

AUTOR:

JOSENKA YANNUZELLI PALADINEZ GRANDA

TUTOR:

ROMERO VASQUEZ KATHERINE LISSETTE

Milagro, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabrizio Guevara Viejó
Rector de la Universidad Estatal de MilagroPresente.

Yo, **Josenka Yannuzelli Paladinez Granda**, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magisteren Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación **Impacto económico y social de la aplicación de tecnologías biotecnológicas agrícolas en el marco de la soberanía alimentaria** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatalde Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercialde la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 23/06/2024



Firmado electrónicamente por:
**JOSENKA YANNUZELLI
PALADINEZ GRANDA**

Josenka Yannuzelli Paladinez

CI: 0706393386

Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Romero Vásquez Katherine Lissette** en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Josenka Yannuzelli Paladinez Granda**, cuyo tema es **Evaluación *In Situ* de Incidencia y Severidad de 2 la Sistémicos Químicos (Propiconazole y Tebiconazole) y 2 la de microorganismos para el control De Sigatoka Negra (*Mycospharella Fijiensis*) en Banano (*Musa Aaa*)**, que aporta a la Línea de Investigación **Impacto económico y social de la aplicación de tecnologías biotecnológicas agrícolas en el marco de la soberanía alimentaria**, previo a la obtención del GradoMagister en biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informede Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 16 de junio del 2024



Firmado electrónicamente por:
KATHERINE LISSETTE
ROMERO VASQUEZ

Romero Vásquez Katherine Lissette

CI. 094081627-5

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. PALADINEZ GRANDA JOSENKA YANNUZELLI**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUACIÓN IN SITU DE INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE 2 IA SISTÉMICOS QUÍMICOS (PROPICONAZOLE Y TEBICONAZOLE) Y 2 IA DE MICROORGANISMOS PARA EL CONTROL DE SIGATOKA NEGRA (MYCOSPHARELLA FIJIENSIS) EN BANANO (MUSA AAA)", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	55.33
SUSTENTACIÓN	37.33
PROMEDIO	92.67
EQUIVALENTE	Bueno



firmado electrónicamente por:
**JOSE FRANCISCO
FALCONI NOVILLO**

Mgtr. **FALCONI NOVILLO JOSE FRANCISCO**
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



firmado electrónicamente por:
**YESSENIA BEATRIZ
SARANGO ORTEGA**



firmado electrónicamente por:
**KAREN ALEXANDRA
RODAS PAZMINO**

Msc **SARANGO ORTEGA YESSENIA BEATRIZ**
VOCAL

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo investigativo a Dios, por brindarme la oportunidad de terminar este ciclo de mi vida.

A mis amados padres José Félix Paladinez Jumbo y Sabina de Jesús Granda Castro que con su gran amor, sacrificio y confianza me apoyaron incondicionalmente en mi educación.

A mis hermanos, Jean Endrik y Miyckie Darrell por haberme brindado su apoyo para el logro de mis objetivos.

Y todos aquellos que siguen estando cerca de mí y que le regalan a mi vida un poco de ellos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por brindarme esta posibilidad de culminar el posgrado, guiándome hacia la superación de cada obstáculo.

A mi tutora Ing. Katherine Lissette Romero Vásquez, que supo brindarme sus conocimientos científicos para la realización y finalización de mi investigación.

Resumen

La Sigatoka negra, provocada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, es la principal amenaza para los cultivos de banano y plátano a nivel global. Si bien el control químico ha sido la estrategia más efectiva hasta ahora, su uso excesivo ha generado consecuencias negativas tanto ambientales como económicas. Esto ha impulsado la búsqueda de alternativas, como el uso de fungicidas biorracionales, que ofrecen un control más sostenible. En este trabajo se evaluó la incidencia y severidad de dos ingredientes activos (IA) sistémicos químicos (propiconazol y tebuconazol) y dos IA de microorganismos para el control de Sigatoka negra. El estudio se realizó en una plantación de banano de la empresa FUMIPALMA S.A. en Puerto Inca, Guayas. Se evaluaron 8 tratamientos en parcelas de 30 x 50 m, con 4 repeticiones cada uno, el área total del estudio fue de 1500 m². La metodología utilizada fue el "single leaf test" (SLT), aplicando los productos en las hojas 1 (H1) y 2 (H2), específicamente en el lado derecho de la nervadura central. Los resultados obtenidos en esta investigación fueron analizados mediante el ADEVA y la diferenciación de medias a través de la prueba de Fisher ($P > 0,05$). La evolución de la enfermedad en H1 en SLT, estuvo entre 7,0-70%; la menor área afectada la presentó el fungicida Nomad con 7,5% y el testigo con el mayor valor porcentaje de enfermedad con 70,33%. El índice de severidad (AUDPC) presentó diferencias estadísticas con valores entre 90,07-900,55, siendo Nomad el mejor tratamiento, que inhibió el desarrollo normal de la enfermedad, y el testigo absoluto fue el más afectado con 957,55. El fungicida químico NOMAD (Tebuconazol + Propiconazol) mostró la mayor efectividad en el control de la Sigatoka negra en la hoja 1 y hoja 2, por lo que se vio diferencia significativa sobre los fungicidas biorracionales a base de Bacillus y Trichoderma.

Palabras claves: *Mycosphaerella fijiensis*, Fungicidas biorracionales, *Bacillus*, *Trichoderma sp.*

Abstract

Black Sigatoka, caused by the fungus *Mycosphaerella fijiensis*, is the main threat to banana and plantain crops globally. Although chemical control has been the most effective strategy until now, its excessive use has generated negative environmental and economic consequences. This has prompted the search for alternatives, such as the use of biorational fungicides, that offer more sustainable control. In this work, the incidence and severity of two chemical systemic active ingredients (AI) (propiconazole and tebuconazole) and two microorganism AIs for the control of black Sigatoka were evaluated. The study was carried out in a banana plantation of the company FUMIPALMA S.A. in Puerto Inca, Guayas. 8 treatments were evaluated in 30 x 50 m plots, with 4 repetitions each, the total study area was 1500 m². The methodology used was the "single leaf test" (SLT), applying the products to leaves 1 (H1) and 2 (H2), specifically on the right side of the central vein. The results obtained in this research were analyzed using the ADEVA and the differentiation of means through the Fisher test ($P>0.05$). The evolution of the disease in H1 in SLT was between 7.0-70%; The smallest affected area was shown by the Nomad fungicide with 7.5% and the control with the highest percentage of disease value with 70.33%. The severity index (AUDPC) presented statistical differences with values between 90.07-900.55, with Nomad being the best treatment, which inhibited the normal development of the disease, and the absolute control was the most affected with 957.55. The chemical fungicide NOMAD (Tebuconazole + Propiconazole) showed the greatest effectiveness in the control of black Sigatoka on leaf 1 and leaf 2, so a significant difference was seen over the biorational fungicides based on *Bacillus* and *Trichoderma*.

Keywords: *Mycosphaerella fijiensis*, Biorational fungicides, *Bacillus*, *Trichoderma sp.*

Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama de GANTT	22
Figura 2. <i>Porcentaje de participación en la superficie cosechada de banano 2023.</i>	30
Figura 3. Producción de banano 2022- 2023 (En millones de Tm).	30
Figura 4. Etapas de desarrollo de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> que afectan la progresión de la enfermedad en el banano	36
Figura 5. Síntomas típicos de la mancha foliar por sigatoka causada por <i>Mycosphaerella spp</i>	39
Figura 6. Distribución mundial de Sigatoka negra	40
Figura 7. Estructura química de Tebuconazol	53
Figura 8. Estructura química de Propiconazole.....	54
Figura 9. <i>Trichoderma harzianum</i> microscopía electrónica (arriba) y óptica (abajo).	55
Figura 10. Características macroscópicas y microscópicas de <i>Metarhizium anisopliae</i>	56
Figura 11. Grados de severidad de la sigatoka negra de acuerdo a la escala de Stover modificada por Gauhl.....	63
Figura 12. Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja1	68
Figura 13. Diferentes tratamientos y sus respectivos valores de AUDPC en la HOJA 1	70

Figura 14. Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2..... 71

Figura 15. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la hoja 2..... 74

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables Independientes.....	25
Tabla 2. Variables Dependientes.....	25
Tabla 3. Influencia de los factores climáticos en las diferentes fases del proceso de la enfermedad	42
Tabla 4. Descripción de la información técnica de los productos comerciales evaluados en el ensayo	60
Tabla 5. Delimitación del experimento.....	61
Tabla 6. Composición del producto Bactisoil	64
Tabla 7. Composición del producto Dynamics.....	65
Tabla 8. Propiedades Físico-químicas del producto comercial NOMAD	66
Tabla 9. Componentes y formulación del producto BANOLE.....	66
Tabla 10. Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja1.....	67
Tabla 11. Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja1	69
Tabla 12. Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2	71
Tabla 13. Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja 2	72

Contenido

Derechos de autor	2
Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación	2
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
Resumen.....	6
Abstract	7
Introducción	16
1. Capítulo I: El problema de la investigación	20
1.1. Planteamiento del problema.....	20
1.2. Delimitación del problema.....	21
1.2.1. Espacio	21
1.2.2. Tiempo	21
1.2.3. Universo	22
1.3. Formulación del problema.....	22
1.4. Preguntas de investigación	23
1.5. Determinación del tema.....	23
1.6. Objetivo general	23
1.7. Objetivos específicos	23
1.8. Hipótesis	24
1.9. Declaración de las variables (operacionalización).....	24

1.10.	Justificación	26
1.11.	Alcance y limitaciones	27
1.11.1.	Alcance.....	27
1.11.2.	Limitaciones	27
2.	CAPÍTULO 2. Marco teórico referencial	28
2.1.	Antecedentes.....	28
2.2.	Importancia del cultivo del banano	28
2.3.	Distribución global y producción	29
2.4.	Valor económico y social del banano	31
2.5.	Sigatoka negra: descripción, impacto y control.....	32
2.5.1.	Agente causal y características de la enfermedad	32
2.5.2.	Taxonomía y Reproducción	33
2.5.3.	Ciclo de vida y epidemiología de la enfermedad	34
2.5.4.	Síntomas y daños causados por Sigatoka negra	37
2.5.5.	Impacto económico y productivo de la enfermedad	39
2.5.6.	Métodos de control para Sigatoka negra.....	40
2.5.7.	Factores que favorecen el desarrollo de Sigatoka negra	41
2.6.	Manejo de Sigatoka negra: estrategias actuales.....	43
2.6.1.	Control Físico.....	44
2.6.2.	Control cultural: prácticas para reducir la inoculación	44
2.6.3.	Control biológico	45

2.6.4.	Control Químico	46
2.7.	Importancia de los fungicidas en el manejo de Sigatoka negra	47
2.7.1.	Consideraciones para la selección y uso de fungicidas	48
2.8.	Clases de fungicidas y su modo de acción	49
2.8.1.	Triazoles	49
2.8.2.	Morfolinas	49
2.8.3.	Benzimidazoles	49
2.8.4.	Carbamatos	50
2.8.5.	Protectantes	50
2.9.	Fungicidas sistémicos: características y mecanismo de acción	50
2.10.	Fungicidas sistémicos químicos: propiconazole y tebuconazol	52
2.10.1.	El tebuconazol.....	52
2.10.2.	El propiconazol.....	53
2.11.	Biofungicidas: características y potencial	54
2.11.1.	Formulaciones comerciales y métodos de aplicación	56
3.	CAPÍTULO III: Diseño metodológico	59
3.1.	Tipo y diseño de investigación	59
3.2.	La población y la muestra	59
3.2.1.	Características de la población.....	59
3.2.2.	Delimitación de la población	61
3.2.3.	Tipo de muestra	61

3.2.4.	Tamaño de la muestra.....	61
3.2.5.	Proceso de selección de la muestra	62
3.3.	Los métodos y las técnicas.....	62
3.3.1.	Diseño de la investigación	62
4.	CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados.....	67
4.1.	Análisis de los resultados	67
4.2.	Interpretación de los resultados.....	75
5.	CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones	77
5.1.	Conclusiones	77
5.2.	Recomendaciones.....	78
	Bibliografía.....	79
	Anexos.....	91

Introducción

El banano (*Musa AAA*) es un cultivo de vital importancia para la seguridad alimentaria y la economía global, siendo el cuarto cultivo más producido a nivel mundial, Ecuador domina el mercado como el principal exportador, con una participación del 34% (Paladines-Montero et al., 2022), el banano es un fruto tropical que se ha convertido en un alimento básico en todo el mundo, paradójicamente se ha visto afectado negativamente por su propia popularidad, su gran demanda global ha impulsado un sistema de producción intensivo, caracterizado por monocultivos a gran escala (World Bank, 2023), antagónicamente su producción se ve seriamente amenazada por diversas enfermedades fúngicas, entre las que destaca la Sigatoka Negra, causada por el patógeno *Mycosphaerella fijiensis* (Barriga-Medina et al., 2022). Esta enfermedad ocasiona severas pérdidas en el rendimiento, además de disminuir la calidad de los frutos, afectando directamente a los ingresos de los productores, como también la disponibilidad de este alimento esencial (Hidalgo & Oliva, 2019).

En las plantaciones bananeras, especialmente en aquellas destinadas a la exportación con producción durante todo el año, el uso de pesticidas para el control de plagas es una práctica extensiva, esta situación se debe a la alta susceptibilidad de los cultivos de banano a las infestaciones, ya que la mayoría se cultivan en regiones tropicales que brindan condiciones favorables para el desarrollo de plagas, los pesticidas se convierten así en una herramienta indispensable para controlar diversas plagas del banano, incluyendo la Sigatoka Negra, una enfermedad que puede reducir los rendimientos en plantaciones bananeras en un rango del 35% al 50%, sin embargo, el uso excesivo de agroquímicos en la producción de monocultivos de banano ha generado un reto ambiental de gran magnitud. (FAO, 2017)

Ante toda esta problemática, surge la necesidad crítica de encontrar soluciones sostenibles para controlar la sigatoka negra, en tal virtud las prácticas tradicionales de manejo, como la eliminación de hojas enfermas, además del uso de fungicidas químico han demostrado ser insuficientes para controlar la enfermedad de manera efectiva y sostenible. Cuando la eficacia de los fungicidas se reduce, conlleva a los agricultores a emplear una cantidad mayor de estos productos químicos, este incremento en el uso de fungicidas intensifica la presión selectiva sobre las

poblaciones de hongos, lo que a su vez acelera el proceso de desarrollo de resistencia, generando preocupación por sus potenciales impactos negativos sobre el medio ambiente, como también a la salud humana (Castillo-Arévalo, 2022)

En la actualidad, la búsqueda de soluciones alternativas que a su vez sean sostenibles para el control de Sigatoka Negra ha impulsado el desarrollo de diversas fórmulas comerciales a base de biofungicidas, extractos vegetales y agentes naturales. Estas nuevas combinaciones ofrecen una alternativa prometedora a los fungicidas químicos tradicionales, con la esperanza de reducir su impacto ambiental además de mejorar la seguridad alimentaria. Una de las estrategias prometedoras es la aplicación de microorganismos biocontroladores (Chávez et al., 2020), ya que estos microorganismos beneficiosos pueden competir con los patógenos dañinos, inhibir su crecimiento, por consiguiente, se logra reducir los síntomas de la enfermedad (Manobanda et al., 2019)

Es conveniente conocer que el ciclo de vida de *M. fijiensis*, se inicia con la llegada de sus esporas a la superficie de una hoja sana, de la misma forma si las condiciones ambientales son favorables, en una hora germinan e inicia la invasión del tejido vegetal. La penetración del hongo depende de la humedad además de la duración de la película de agua sobre la hoja, completándose entre dos a tres días, luego del período de incubación, aparecen los primeros síntomas: pequeñas manchas marrones conocidas como "pizcas". En la fase latente, el hongo se prepara para la reproducción, formando conidióforos y conidios, estructuras que albergan las nuevas esporas infecciosas que luego son liberadas, las ascosporas maduras listas para iniciar un nuevo ciclo, aparecen 49 días después de la infección en banano, cabe destacar que, durante el verano estos tiempos se prolongan, retrasando la manifestación de la enfermedad, así como la formación de esporas (Casas et al., 2021)

El control de la Sigatoka Negra se ve obstaculizado por la compleja biología del hongo, el cual presenta numerosos ciclos de reproducción sexual y asexual, lo que genera una alta variabilidad genética que dificulta el desarrollo de estrategias de control efectivas, al mismo tiempo la emisión constante de hojas nuevas en la plantación crea un escenario ideal para el desarrollo de la enfermedad, ya que estas hojas jóvenes son más susceptibles a la infección. La presencia de plantas en

diferentes estados fenológicos dentro de la misma plantación también complica el manejo, puesto que requiere de estrategias adaptadas a cada etapa del ciclo de vida del banano (Campo-Arana et al., 2020a)

En el escenario global de la exportación bananera, un espectro preocupante acecha, el aumento del porcentaje de rechazo de productos que no cumplen con las estrictas normas de calidad exigidas en los principales mercados internacionales, esta nueva realidad, impulsada por la mayor rigurosidad en los niveles máximos de residuos permitidos en mercados como Estados Unidos y la Unión Europea, ha desatado la alarma entre productores, así como también de exportadores. Los productos que no alcanzan los estándares impuestos por estos mercados no pueden ser exportados, lo que se traduce en pérdidas económicas significativas al igual que amenaza la competitividad del sector bananero en su conjunto (FAO, 2023).

Podemos incluir que la producción sostenible no es solo una opción, sino una necesidad imperiosa para garantizar la viabilidad de la agricultura en un mundo que enfrenta el cambio climático, la degradación ambiental como también la creciente demanda de alimentos. Lejos de ser una simple tendencia la producción sostenible se basa en principios sólidos que buscan integrar los procesos de producción, los productos y los servicios de manera integral. Al adoptar este enfoque, se logra mitigar el peligro para los trabajadores, la comunidad, los consumidores de los productos al igual que a las generaciones futuras. La agricultura sostenible promueve prácticas agrícolas seguras además de responsables, por lo tanto, minimizan el uso de agroquímicos fomentando el uso de métodos alternativos de control integrado de plagas. (A. Sánchez et al., 2021)

Considerando lo plasmado anteriormente este estudio propone investigar y analizar la efectividad de estas fórmulas comerciales en la inhibición de *Mycosphaerella fijiensis* y su impacto en la reducción de los síntomas de la Sigatoka Negra en plantaciones de banano. En tal sentido esta investigación dispone de un alto potencial para brindarles a los productores herramientas más efectivas para el control de esta enfermedad, reduciendo las pérdidas de producción, en otras palabras mejorando sus ingresos, además de contribuir a la producción sostenible de banano, satisfaciendo la demanda global de este alimento de manera responsable con el medio ambiente,

garantizando el acceso a bananos de alta calidad libres de residuos de fungicidas químicos nocivos para la salud.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1. Planteamiento del problema

El banano (*Musa AAA*) es uno de los cultivos frutícolas más importantes a nivel mundial, siendo una fuente de alimento esencial para millones de personas, sin embargo, su producción se ve seriamente amenazada por la Sigatoka negra (*Mycosphaerlla fijiensis*), una enfermedad fúngica que causa graves daños a las hojas de la planta, reduciendo significativamente el rendimiento y la calidad de los frutos.

La Sigatoka negra es la enfermedad foliar más importante del banano, con una distribución global que afecta a prácticamente todos los países productores, su impacto es considerable, ocasionando pérdidas de hasta el 50% del rendimiento en plantaciones severamente afectadas.

La enfermedad se caracteriza por la aparición de lesiones foliares ovaladas o alargadas, de color marrón o negro, con bordes amarillos, estas lesiones se expanden gradualmente, provocando la muerte de las hojas por consiguiente la defoliación prematura de la planta.

La Sigatoka negra representa un gran desafío para la industria bananera, generando importantes pérdidas económicas que afectan la seguridad alimentaria de las poblaciones que dependen del cultivo.

El control de la enfermedad se basa principalmente en el uso de fungicidas químicos, como el propiconazol y el tebuconazol, sin embargo, el uso excesivo de estos productos ha generado preocupación por su impacto ambiental y la resistencia que pueden desarrollar los patógenos.

1.2. Delimitación del problema

El problema se ha delimitado de la siguiente manera:

1.2.1. Espacio

El trabajo investigativo se desarrolló en la zona de Puerto Inca perteneciente al cantón Naranjal, en la parcela experimental de la empresa FUMIPALMA en las siguientes coordenadas UTM:

LATITUD (S)	LONGITUD (W)	COTA (Z)
023341	0793254	15

1.2.2. Tiempo

El período donde se desarrolló la presente investigación está comprendido entre el 5 de abril y el 20 de mayo de 2024, esta fecha se considera ideal para realizar una investigación en banano en la zona de Naranjal por las siguientes razones:

Condiciones climáticas favorables:

- **Temperatura:** Durante este período, las temperaturas promedio en Naranjal oscilan entre 24°C y 28°C, ideales para el crecimiento y desarrollo del banano.
- **Precipitación:** La precipitación promedio durante este período es de aproximadamente 100 mm, lo que proporciona la humedad adecuada para el desarrollo óptimo del cultivo.
- **Humedad relativa:** La humedad relativa promedio se encuentra entre el 70% y el 80%, creando un ambiente favorable para la prevención de enfermedades fúngicas.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

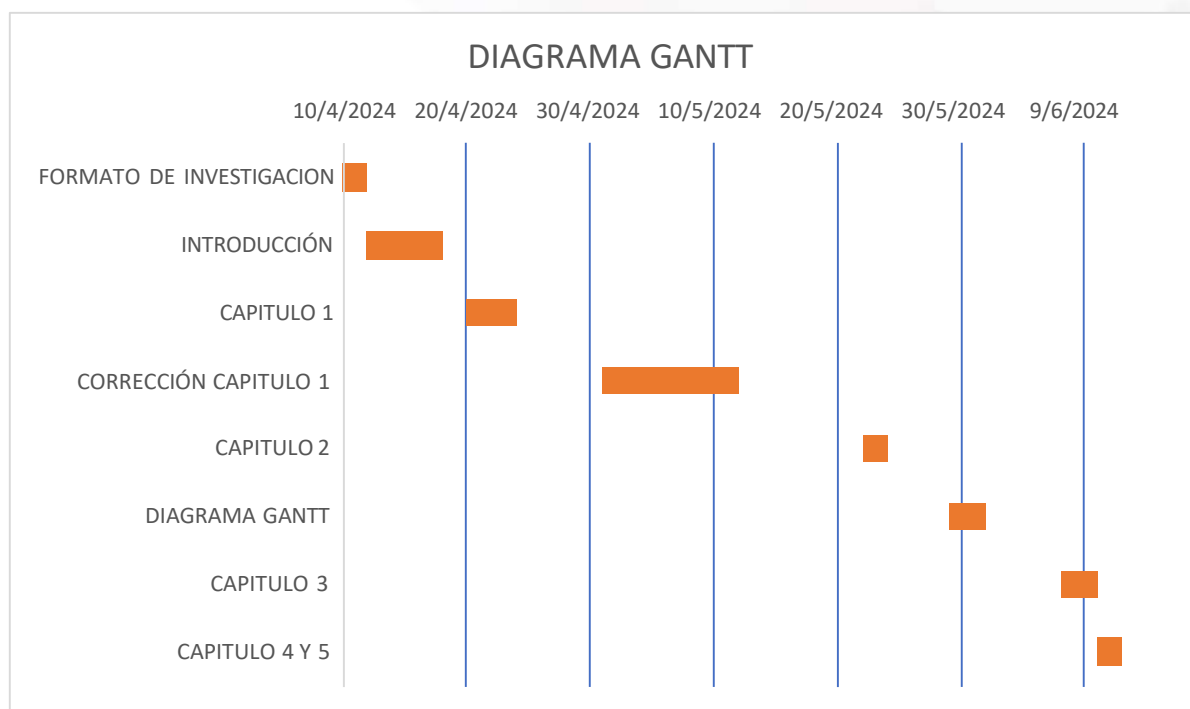


Figura 1.

Diagrama de GANTT

1.2.3. Universo

El universo corresponde a los productores de banano de la empresa FULMIPALMA en una parcela de 30 m por 50 m, en plantas sembradas a una distancia de 3 por 3 m.

1.3. Formulación del problema

En función de lo expresado se formula el siguiente problema de investigación:

El control de Sigatoka negra tradicionalmente se ha basado en el uso de fungicidas químicos sistémicos, como propiconazol y tebuconazol. Sin embargo, el uso excesivo de estos fungicidas ha generado resistencia en el patógeno, además de causar impactos ambientales negativos. En este contexto, existe una necesidad urgente de desarrollar estrategias de control alternativas que sean más efectivas, viables económicamente y ambientalmente sostenibles.

1.4. Preguntas de investigación

- ¿Cuál es la eficacia de dos ingredientes activos (IA) de microorganismos en el control de la incidencia y severidad de Sigatoka negra en banano (*Musa AAA*) bajo condiciones controladas en plantilla?
- ¿Cuál es la comparación integral, en términos de eficacia, viabilidad económica e impacto ambiental, entre dos IA de microorganismos y dos IA sistémicos químicos para el control de la Sigatoka negra en plantaciones de banano, además de sus potenciales efectos secundarios sobre la salud del cultivo?

1.5. Determinación del tema

El propósito del trabajo fue la evaluación de la incidencia y severidad de dos ingredientes activos (IA) sistémicos químicos (propiconazol y tebuconazol), además de dos IA con microorganismos para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano (*Musa AAA*), en la zona de Puerto Inca perteneciente al cantón Naranjal

1.6. Objetivo general

Evaluar la incidencia y severidad de dos ingredientes activos (IA) sistémicos químicos (propiconazol y tebuconazol) y dos IA de microorganismos para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano (*Musa AAA*) bajo condiciones controladas en plantilla, durante una sola temporada de crecimiento en una finca bananera en la zona de Puerto Inca, en comparación con un control sin tratamiento.

1.7. Objetivos específicos

- Determinar el grado de incidencia, como también la severidad de Sigatoka negra en parcelas experimentales de banano tratadas con propiconazol, tebuconazol, microorganismos antagonistas y un control sin tratamiento.
- Estimar la eficacia de los cuatro tratamientos (propiconazol, tebuconazol, microorganismos antagonistas, así mismo de un control sin tratamiento) para el control de Sigatoka negra en banano.

- Comparar la incidencia y severidad de Sigatoka negra entre los cuatro tratamientos (propiconazol, tebuconazol, microorganismos antagonistas y control sin tratamiento).
- Establecer la rentabilidad, además del impacto ambiental de diferentes estrategias de control de Sigatoka negra en banano, incluyendo propiconazol, tebuconazol, microorganismos antagonistas y un control sin tratamiento.
- Demostrar que tratamiento es el más efectivo de las dos fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores en la inhibición y reducción de la sigatoka negra en banano.

1.8. Hipótesis

En relación a la problemática expuesta, la hipótesis que nos hemos planteado para el presente trabajo de investigación establece que los dos IA de microorganismos demostrarán una mayor eficacia, con una reducción significativa en la incidencia de la enfermedad, así como un aumento proporcional en el rendimiento en comparación con los dos IA sistémicos químicos en el control de Sigatoka negra en banano, dentro de una sola temporada de crecimiento. Además, los IA de microorganismos ofrecerán una mayor viabilidad económica al reducir los costos de pesticidas y una mayor viabilidad ambiental al mejorar la salud del suelo.

1.9. Declaración de las variables (operacionalización)

En la Tabla 1 y 2 podemos observar las variables dependientes e independientes que fueron evaluadas en esta investigación:

Tabla 1.*Variables Independientes*

Variable	Operatividad	Medición	Indicador
Variables Independientes			
Propiconazole	Aplicación de fungicida sistémico químico en dosis recomendadas para el control de Sigatoka Negra.	Concentración aplicada (mg/L o % solución) y frecuencia de aplicación.	Dosis y frecuencia de aplicación de propiconazole.
Tebuconazole	Aplicación de otro fungicida sistémico químico en dosis recomendadas para el control de Sigatoka Negra.	Concentración aplicada (mg/L o % solución) y frecuencia de aplicación.	Dosis y frecuencia de aplicación de tebuconazole.
IA de microorganismos 1	Aplicación de agente de control biológico (Bacillus) en dosis recomendadas.	Concentración del inóculo (cfu/mL) y frecuencia de aplicación.	Dosis y frecuencia de aplicación del microorganismo 1.
IA de microorganismos 2	Aplicación de otro agente de control biológico (Trichoderma) en dosis recomendadas.	Concentración del inóculo (cfu/mL) y frecuencia de aplicación.	Dosis y frecuencia de aplicación del microorganismo 2.

Tabla 2.*Variables Dependientes*

Variables Dependientes			
Variable	Operatividad	Medición	Indicador
Incidencia de Sigatoka Negra	Proporción de plantas afectadas por Mycosphaerella fijiensis.	Número de plantas afectadas / Número total de plantas x 100.	Porcentaje de incidencia de la enfermedad.

Severidad de Sigatoka Negra	Grado de daño en las hojas de banano causado por <i>Mycosphaerella fijiensis</i> , evaluado mediante una escala visual.	Escala visual de severidad (0-5), donde 0 = sin daño y 5 = daño severo.	Promedio de la severidad observada en las plantas.
Eficacia del tratamiento	Reducción en la incidencia y severidad de Sigatoka Negra en comparación con un control no tratado.	(Incidencia o severidad en control - Incidencia o severidad en tratamiento) / Incidencia o severidad en control x 100.	Porcentaje de reducción en incidencia y severidad de la enfermedad.
Fitotoxicidad	Presencia de efectos adversos de los tratamientos en las plantas de banano, evaluados visualmente y mediante pruebas de laboratorio si es necesario.	Observación visual de síntomas de fitotoxicidad, como quemaduras, clorosis, necrosis, etc.	Presencia/ausencia de síntomas de fitotoxicidad.
Rendimiento del banano	Cantidad de producción de banano en plantas tratadas versus plantas no tratadas.	Peso total de racimos producidos por planta (kg/planta) o número de racimos por planta.	Promedio de peso o número de racimos producidos por planta.
Calidad del fruto	Evaluación de parámetros de calidad del fruto, tales como tamaño, peso, aspecto y ausencia de manchas o daños.	Tamaño (cm), peso (g), número de frutos con manchas o daños.	Promedio de tamaño, peso y porcentaje de frutos sin manchas o daños.

1.10. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad de encontrar alternativas sostenibles, que a su vez sean eficaces para el control de Sigatoka negra en el banano. La evaluación de la eficacia, viabilidad económica y ambiental de diferentes estrategias de control permitirá a los productores tomar decisiones informadas para el manejo de la enfermedad con la finalidad de proteger el medio ambiente.

1.11. Alcance y limitaciones

La investigación se enfocará en la evaluación de dos IA sistémicos químicos (propiconazol y tebuconazol), además de dos IA de microorganismos para el control de Sigatoka negra en banano (Musa AAA) bajo condiciones controladas en plantilla en la zona de Puerto Inca.

1.11.1. Alcance

Los resultados de esta investigación contribuirán a:

- **Mejorar el control de Sigatoka negra en el banano:** Proporcionando información sobre la eficacia de diferentes estrategias de control, permitiendo a los productores seleccionar la más adecuada para sus condiciones específicas.
- **Disminuir el uso de fungicidas químicos:** Promoviendo el uso de alternativas sostenibles y amigables con el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental de la producción bananera.
- **Aumentar la productividad y rentabilidad del cultivo:** Al controlar la enfermedad de manera efectiva, se espera un aumento del rendimiento al igual que la calidad de los frutos, generando mayores ingresos para los productores.
- **Contribuir a la seguridad alimentaria:** Garantizando la disponibilidad de banano de calidad para las poblaciones que dependen de este cultivo como fuente de alimento.

1.11.2. Limitaciones

Las limitaciones de la investigación incluyen:

- **Disponibilidad de recursos:** La disponibilidad de recursos financieros, humanos, además de los materiales puede limitar el alcance, así como también la profundidad de la investigación.
- **Condiciones climáticas:** Las condiciones climáticas variables pueden afectar el desarrollo de la enfermedad, inclusive la eficacia de los tratamientos.
- **Variabilidad genética del patógeno:** La variabilidad genética del patógeno puede afectar la respuesta de la enfermedad a los diferentes tratamientos.

CAPÍTULO 2. Marco teórico referencial

2.1. Antecedentes

El banano está considerado como una de las frutas de mayor antigüedad cultivada por el hombre, existen estudios arqueológicos donde se revelan hallazgos en el Sudeste de Asia, concretamente en Papúa Nueva Guinea se estima que hace más de 7000 años los agricultores de esta zona ya habían domesticado este cultivo.(Martínez-Solórzano & Rey-Brina, 2021). El origen de la planta en el Mediterráneo es motivo de debate, la teoría más común sostiene que llegó a la región tras la conquista árabe, extendiéndose luego al Nuevo Mundo, sin embargo, también existen especulaciones que sugieren su llegada desde las Islas Canarias procedentes de la península Ibérica o incluso directamente a América, ya sea de forma natural o a través de la intervención humana (Carreño & Portilla, 2020).

2.2. Importancia del cultivo del banano

A nivel global, el banano se destaca como un cultivo alimenticio fundamental, reconocido por su alto contenido energético y su capacidad para generar elevados volúmenes de producción anual (Burgo & Gaitán, 2021). En el panorama agrícola de América Latina y el Caribe, la producción de banano ocupa un lugar preponderante, tanto en términos de importancia económica como de extensión territorial. Para Ecuador, en particular, el cultivo del banano constituye uno de los pilares fundamentales de la economía, impulsando las exportaciones gracias a la alta calidad de la fruta (Cedeño-Aviles et al., 2021). La demanda internacional de banano se ve impulsada por las propiedades nutricionales que este fruto posee, convirtiéndolo en una opción atractiva para consumidores de todo el mundo, su sabor dulce, además de su versatilidad en la cocina lo posicionan como un ingrediente esencial en diversas recetas. La relevancia del banano para la región se extiende más allá de su valor económico, la producción de este cultivo genera empleo en las zonas rurales, contribuyendo al desarrollo social, como también al bienestar de las comunidades locales.(Carrasco et al., 2024)

El cultivo de banano constituye un pilar fundamental de la economía y la sociedad ecuatoriana, su relevancia se refleja en su aporte del 2% al Producto Interno Bruto (PIB) general, que a su vez representan el 35% del PIB agrícola (Villanueva et al.,

2020), cifras que evidencian su impacto en el sector primario, además, este cultivo genera empleo directo e indirecto para aproximadamente 1 millón de familias, beneficiando a un total de 2,5 millones de personas, lo que representa el 6% de la población total del país. De esta manera, el banano se posiciona como un motor de desarrollo económico, así como social para Ecuador, contribuyendo al bienestar de un amplio segmento de su población (García Regalado et al., 2019)

2.3. Distribución global y producción

El banano, se ha posicionado como un gigante en el escenario del comercio internacional. Su estatus como el primer producto globalizado del mundo moderno lo convierte en un referente clave en la economía internacional, con un impacto significativo en diversos aspectos (Miranda Santos et al., 2022). A lo largo de la última década, Ecuador, Filipinas y Costa Rica han consolidado su liderazgo como los principales exportadores de banano a nivel mundial, abasteciendo a mercados internacionales con este fruto altamente demandado. En el otro extremo de la cadena comercial, Estados Unidos de Norte América, Alemania y Bélgica se perfilan como los principales importadores de banano, en base a que dichos países consumen considerables cantidades de este producto debido a su sabor característico. El comercio internacional del banano genera un flujo significativo de divisas para los países exportadores, contribuyendo a su desarrollo económico y social, además, la producción y exportación de banano generan empleo en las zonas rurales, impulsando el bienestar de las comunidades locales (León Ajila et al., 2023).

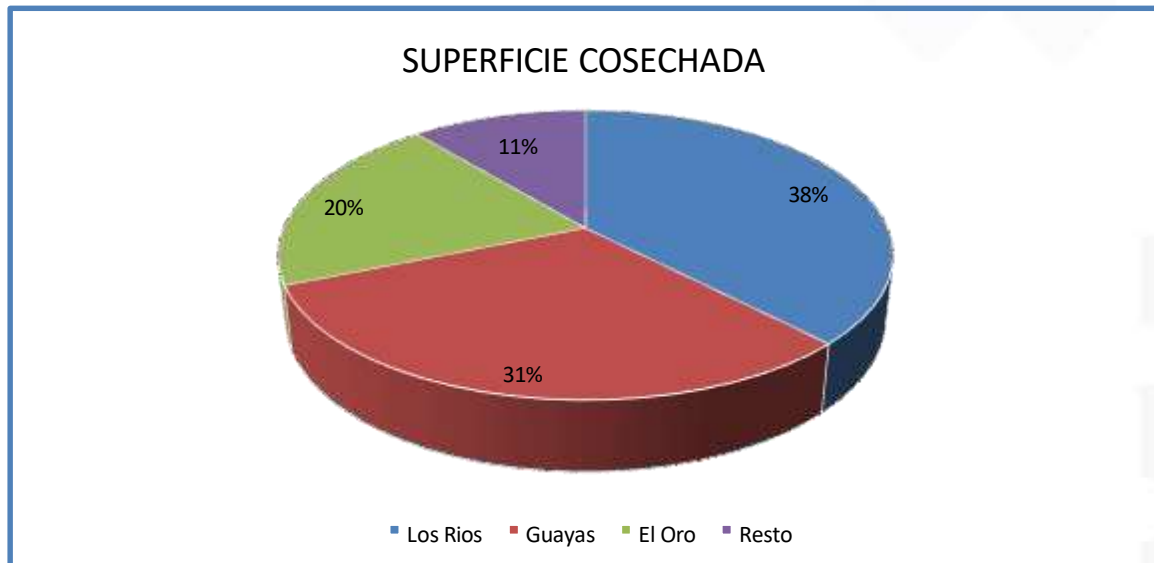
Se prevé que la superficie dedicada al cultivo de banano experimentará un crecimiento significativo en las próximas décadas, con un aumento estimado del 50% para el año 2070. Esta expansión responde a la creciente demanda mundial de este fruto, impulsada por el aumento de la población, la urbanización y el cambio en los hábitos alimenticios (Bubici et al., 2019).

Según el (INEC, 2024), nos indica que, en el año 2023 la superficie cosechada de banano en Ecuador alcanzó las 175.181 hectáreas, lo que representa un crecimiento del 4.6% en comparación con el año 2022. Este incremento refleja la pujanza del sector bananero en el país y su importancia como motor de la economía nacional. La producción bananera se concentra principalmente en la Región Costa del país, donde

se encuentran las provincias con mayor superficie cosechada. En el gráfico 1 nos describe que las provincias de Los Ríos, Guayas y El Oro acaparan el 81.0% de la superficie nacional dedicada al cultivo del banano, cabe destacar que la región Sierra aporta el 16.0% el restante 3% se produce en la Amazonia (León et al., 2020).

Figura 2.

Porcentaje de participación en la superficie cosechada de banano 2023.

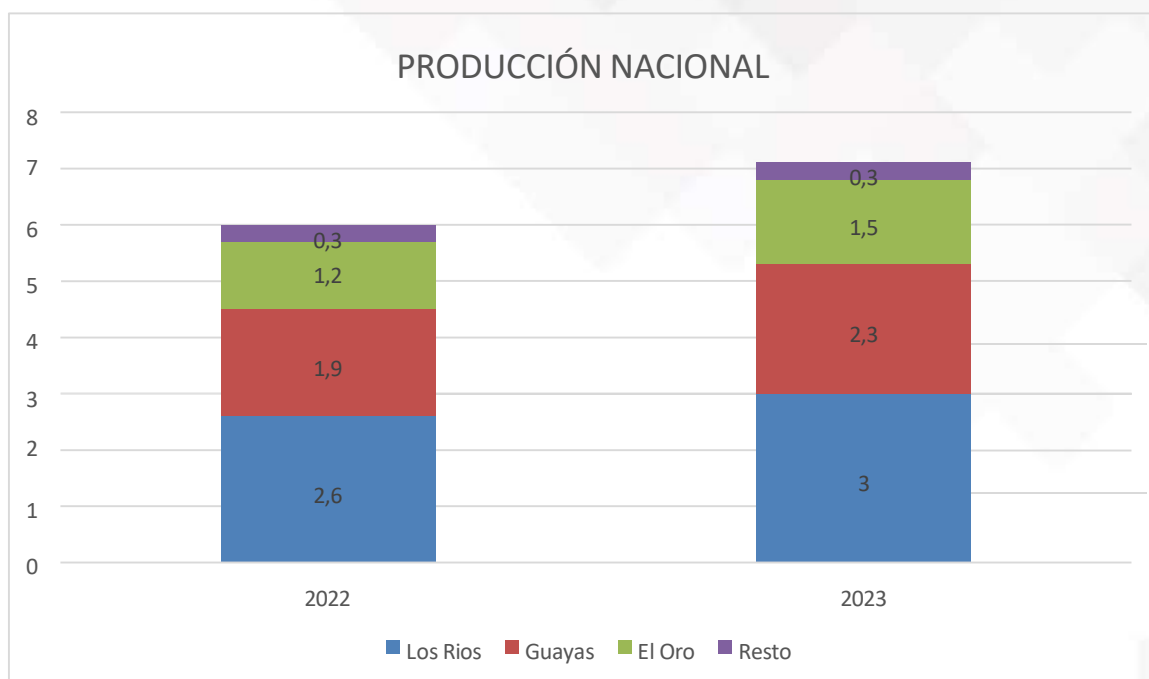


Nota: Fuente (INEC, 2024)

Cabe considerar, por otra parte, que la provincia de Los Ríos ocupa el primer lugar en la producción de banano a nivel nacional, lo que supondría una representación del 42,6% del total, este predominio se explica por varios factores: las condiciones climáticas favorables, la abundancia de tierras fértiles y la vasta experiencia de los agricultores en el cultivo de esta fruta. En el ámbito de la producción anual de banano, Ecuador experimentó un crecimiento significativo en 2023, alcanzando un volumen de 7,2 millones de toneladas, según se ilustra en el Gráfico 2. Este notable incremento del 17,8% en comparación con el año anterior posiciona al país como un importante actor en el panorama global de producción bananera (INEC, 2024).

Figura 3.

Producción de banano 2022- 2023 (En millones de Tm).



Nota: Fuente ESPAC 2024

2.4. Valor económico y social del banano

Ecuador se distingue como una nación de vocación agrícola, donde el sector agropecuario se posiciona como el pilar fundamental de la economía nacional, este sector, conformado por la agricultura, la ganadería, la pesca, así como otras actividades relacionadas con el manejo de la tierra representa una fuente crucial de ingresos, además de divisas para el país. La importancia del sector agropecuario en Ecuador se refleja en su significativa contribución al Producto Interno Bruto (PIB) nacional, así mismo este sector genera una gran cantidad de empleos, tanto directos como indirectos, en las zonas rurales del país (Álvarez et al., 2020).

El sector agropecuario también juega un papel fundamental en la seguridad alimentaria de Ecuador, garantizando el abastecimiento de productos alimenticios frescos y de calidad para la población. Cabe destacar que el sector agropecuario ecuatoriano enfrenta diversos desafíos, como la baja productividad, la dependencia de las condiciones climáticas, la falta de acceso a crédito e investigación, también podemos mencionar la competencia en los mercados internacionales, sin embargo, el gobierno ecuatoriano ha implementado diversas políticas como también programas para fortalecer el sector agropecuario y hacerlo más competitivo. Entre estas medidas se encuentran la inversión en infraestructura, la promoción de la agricultura

sostenible, el apoyo a los pequeños productores y la apertura de nuevos mercados. En definitiva, el sector agropecuario constituye un pilar fundamental de la economía ecuatoriana ya que juega un papel crucial en el desarrollo del país. A pesar de los desafíos que enfrenta, el sector tiene un gran potencial para seguir creciendo sobre todo contribuyendo al bienestar de la población ecuatoriana (León Serrano et al., 2020).

2.5. Sigatoka negra: descripción, impacto y control

2.5.1. Agente causal y características de la enfermedad

La Sigatoka Negra (SN), también conocida como enfermedad de las rayas negras del banano, se erige como la principal amenaza para la producción de musáceas, es un patógeno fúngico que afecta las hojas de bananos y plátanos, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, la SN se caracteriza por provocar la aparición de lesiones alargadas de color marrón oscuro en las hojas, lo que reduce su capacidad fotosintética, en consecuencia, disminuye el rendimiento del cultivo. Para garantizar una producción de musáceas de calidad, es fundamental mantener un mínimo de ocho hojas sanas en la planta hasta el momento de la cosecha, esta cantidad de hojas es crucial para asegurar la fotosíntesis adecuada, las frutas provenientes de plantas gravemente afectadas por la SN presentan una alta probabilidad de ablandarse prematura e irregularmente, lo que las vuelve no aptas para el consumo generando pérdidas adicionales para los productores (Parrales et al., 2022).

En el año de 1987, una nueva y más severa enfermedad foliar del banano, la Sigatoka negra, hizo su aparición en Ecuador, esto marcó un punto de inflexión para la industria bananera del país, ya que la Sigatoka negra rápidamente reemplazó a la Sigatoka amarilla, que es menos severa, convirtiéndose así en la enfermedad foliar predominante del banano en la región. Para 1992, la SN se había extendido por todas las zonas bananeras de Ecuador, representando una amenaza significativa tanto para la producción como para la viabilidad económica (García-Sánchez et al., 2022).

La mayor severidad de la SN en comparación con su predecesora condujo a un aumento sustancial en la frecuencia de las aplicaciones de fungicidas, los ciclos de aplicación aérea de fungicidas aumentaron del 40% al 100%, lo que elevó los costos de producción y generó preocupaciones sobre el impacto ambiental de estos

químicos. En casos severos de ataque de Sigatoka negra, plantaciones enteras de banano podían perderse por completo, lo que destaca el potencial devastador de esta enfermedad (García-Sánchez et al., 2022).

2.5.2. Taxonomía y Reproducción

Taxonomía:

Zumba (2020) citando a CABI (2021), indica la siguiente descripción de la taxonomía de *M. Fijiensis*:

- Dominio: Eucariota
- Reino: Hongos
- Filo: Ascomycota
- Subfilo: Pezizomycotina
- Clase: Dothideomycetes
- Subclase: Dothideomycetidae
- Orden: Capnodiales
- Familia: Mycosphaerellaceae
- Género: *Mycosphaerella*
- Especie: *Mycosphaerella fijiensis*

Características biológicas:

- **Tipo de nutrición:** Haploide, hemibiotrófico
- **Reproducción:**
 - **Sexual:** Mediante la fusión de dos hifas compatibles de diferente signo sexual (heterotálico bipolar). El resultado es la formación de un ascocarpo que contiene ascas con ascosporas.
 - **Asexual:** Mediante la producción de conidios a partir de conidióforos. Los conidios son estructuras reproductivas unicelulares que se dispersan por el aire o el agua y pueden germinar para iniciar nuevas infecciones (Carlier et al., 2021).

2.5.3. Ciclo de vida y epidemiología de la enfermedad

Mycosphaerella fijiensis, el agente causal de la Sigatoka negra, es un hongo fitopatógeno que representa una grave amenaza para la producción bananera, su ciclo de vida intrincado, estrechamente ligado a las condiciones climáticas y microclimáticas, juega un papel fundamental en la epidemiología de la enfermedad como en el desarrollo de estrategias de control efectivas. Durante la estación seca, *M. fijiensis* sobrevive en residuos vegetales infectados, principalmente en hojas enfermas, estos restos de tejido foliar albergan ascosporas, conidios, que son estructuras reproductivas que permiten que el hongo persista en el ambiente hasta que surjan condiciones favorables para su desarrollo (Bebber, 2019).

Según (Mayorga Arias et al., 2022) nos menciona que tanto la Sigatoka negra como la Sigatoka amarilla comparten similitudes en sus ciclos con una diferencia crucial, la SN produce una cantidad mayor de ascosporas las cuales juegan un papel fundamental en su dispersión, adicionalmente se tiene conocimiento de que la producción de estas ascosporas se intensifica en las últimas etapas de la enfermedad cuando el tejido necrótico abunda. El ciclo total de la SN en plantas de banano puede completarse en tan solo 23 días aunque lo usual es que fluctúe entre 35 y 50 días; las ascosporas junto con las conidias en menor medida constituyen los propágulos que permiten la diseminación del hongo, las conidias se forman con facilidad en condiciones de alta humedad especialmente cada vez que una película de agua cubre las hojas, por su parte, los peritecios maduran después de que los tejidos muertos de la lámina foliar se saturan de agua durante aproximadamente 48 horas.

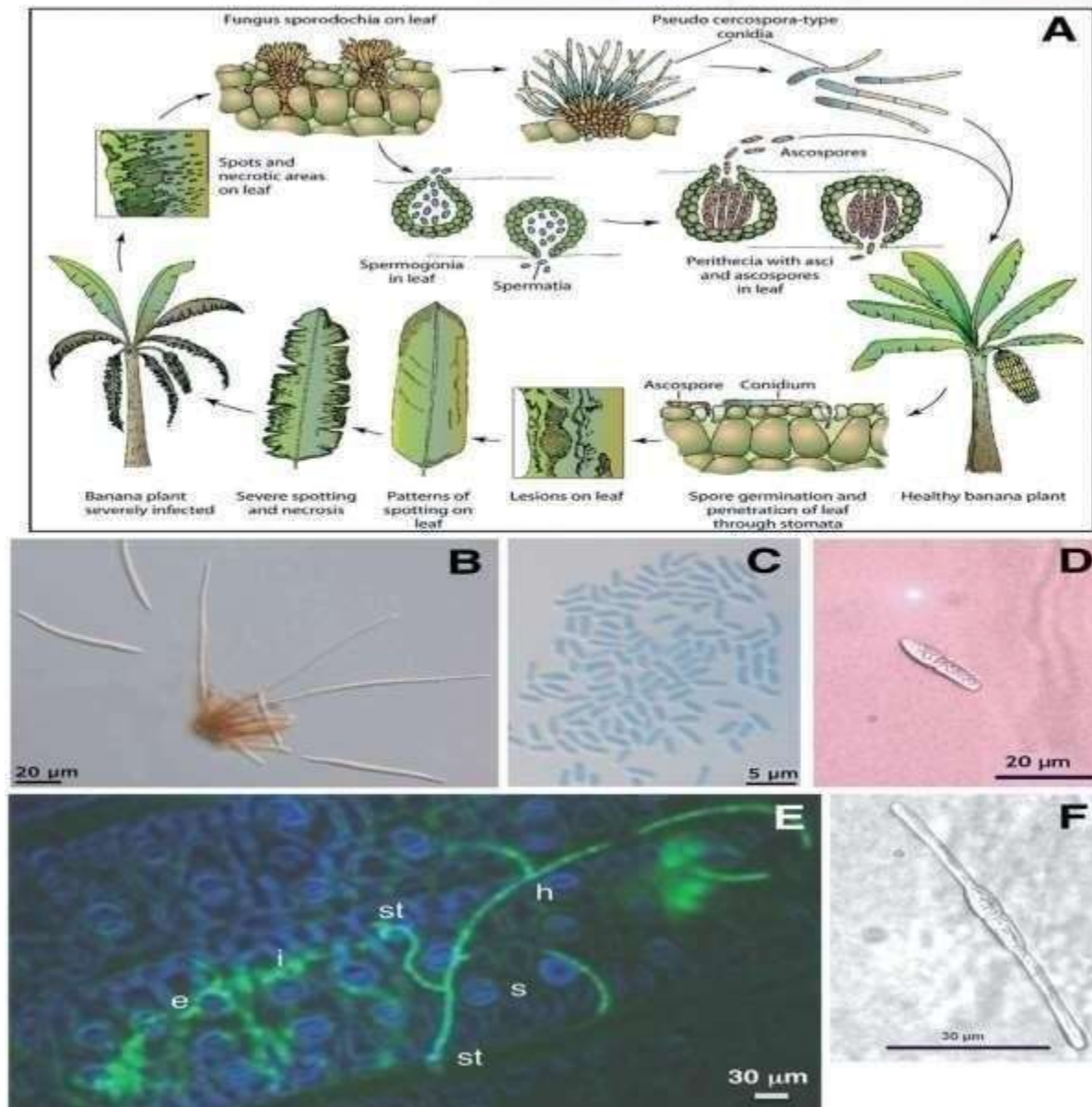
Las ascosporas se erigen como el principal medio de dispersión a largas distancias, propagando la enfermedad durante épocas extendidas de lluvias, el desarrollo de la SN se encuentra estrechamente ligado a las condiciones climáticas, la susceptibilidad de la variedad sembrada y las prácticas de manejo del cultivo, las zonas más afectadas por esta enfermedad se caracterizan por una precipitación anual superior a 1400 mm, una humedad relativa mayor al 80% además de una temperatura promedio que oscila entre los 23 y 28 °C (Mayorga Arias et al., 2022)

Una vez germinadas las esporas de *Mycosphaerella fijiensis* penetran en las hojas de banano a través de los estomas, estas son unas pequeñas aberturas en la superficie

de la hoja que permiten el intercambio de gases, el hongo coloniza los tejidos internos de la planta, provocando la formación de lesiones necróticas características de la Sigatoka negra. Estas lesiones necróticas causadas por *Mycosphaerella fijiensis* sirven como sustrato para la producción de nuevas estructuras reproductivas, el hongo forma conidios en estas lesiones, los cuales pueden dispersarse por las salpicaduras de lluvia e iniciar nuevas infecciones, promoviendo así la propagación de la enfermedad dentro del cultivo (Strobl & Mohan, 2020).

Figura 4.

Etapas de desarrollo de Mycosphaerella fijiensis que afectan la progresión de la enfermedad en el banano.



Nota: (A) Ciclo de vida del desarrollo de la Sigatoka negra de la hoja de *Musa* spp., causada por *M. fijiensis*. (B) Conidios y conidióforos. (C) Espermatia. (D, F) No germinados y germinados ascosporas bicelulares, respectivamente. Germinación desde ambos extremos polares con tubos germinales paralelos a el eje largo de la espora es un carácter diagnóstico para las ascosporas de *M. fijiensis*. (E) Crecimiento de una única hifa epifílica (h) de *M. fijiensis* expresando proteína verde fluorescente, después de una transformación mediada por *Agrobacterium*, en la superficie abaxial de una hoja de plátano 'Grande Naine'.

Fuente: (Churchill, 2011).

Comprender el ciclo de vida de *Mycosphaerella fijiensis* es esencial para diseñar estrategias de manejo efectivas para la Sigatoka negra. El conocimiento de las condiciones que favorecen la germinación de esporas, la infección de las plantas además de la producción de nuevas estructuras reproductivas permitirá implementar medidas preventivas que resulten en un control específico, favoreciendo la reducción del grado de incidencia de esta enfermedad (Ahohouendo et al., 2022).

2.5.4. Síntomas y daños causados por Sigatoka negra

Según (Esguera et al., 2024), nos indica que la SN, presenta un progreso característico que se desarrolla en seis etapas, según la descripción de Fouré en 1987, de la cual a continuación se ofrece una descripción detallada de cada etapa:

Etapa 1: Manchas iniciales (AMORES & TRELLES, 2022)

- **Ubicación:** Envés de la hoja
- **Apariencia:** Manchas diminutas de color blanquecino o amarillento.
- **Tamaño:** Menos de 1 mm de diámetro.
- **Características adicionales:** Invisibles a la luz translúcida.

Etapa 2: Rayas marrones (AMORES & TRELLES, 2022)

- **Ubicación:** Envés de la hoja
- **Apariencia:** Rayas observables de color marrón rojizo a marrón oscuro.
- **Tamaño:** Entre 3 a 4 mm de longitud por 1 mm de ancho.
- **Características adicionales:** Visibles a la luz translúcida.
- **Efecto en la hoja:** La parte superior correspondiente de la hoja se vuelve de color marrón a negro.

Etapa 3: Vetas necróticas (AMORES & TRELLES, 2022)

- **Ubicación:** Envés de la hoja
- **Apariencia:** Vetas de color marrón oscuro que se alargan.
- **Tamaño:** Alrededor de 20 a 30 mm de longitud.
- **Características adicionales:** En condiciones favorables, las vetas pueden fusionarse para formar necrosis foliar extensa.

Etapa 4: Manchas fusionadas (Espitia Wilches, 2020)

- **Ubicación:** Envés de la hoja
- **Apariencia:** Manchas formadas por la fusión de las vetas.
- **Coloración:** Marrón en el envés y negro en el haz de la hoja.

Etapas 5: Manchas elípticas (Espitia Wilches, 2020)

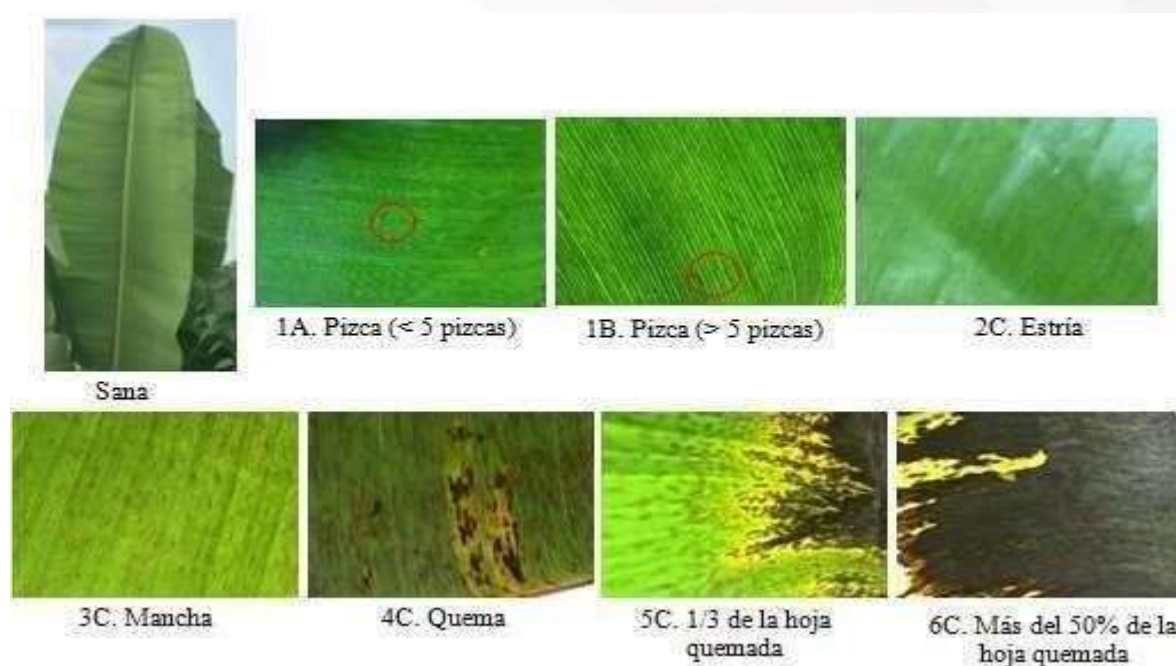
- **Forma:** Elíptica.
- **Coloración:** Negra en ambos lados de la hoja.
- **Característica adicional:** Rodeada por un halo amarillo, especialmente visible en el haz de la hoja.
- **Textura:** Centro aplanado.

Etapas 6: Necrosis y desecación (Espitia Wilches, 2020)

- **Apariencia:** El centro de la mancha se seca y adquiere un color blanquecino a gris claro.
- **Borde:** Borde negro distintivo.
- **Permanencia:** El borde negro permanece visible incluso después de la muerte y el secado de la hoja.

Figura 5.

Síntomas típicos de la mancha foliar por sigatoka causada por *Mycosphaerella* spp.



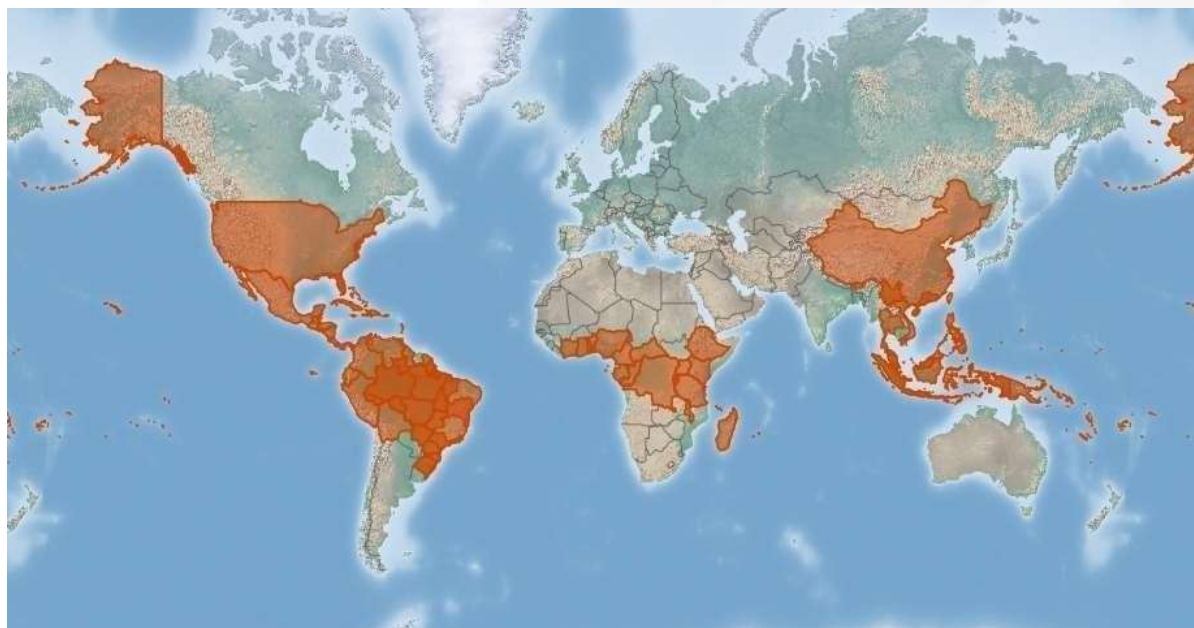
Fuente: (Cedeño-zambrano et al., 2021)

2.5.5. Impacto económico y productivo de la enfermedad

Entre las enfermedades que afectan al banano, la Sigatoka Negra (SN), causada por los hongos *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (teleomorfo) y *Pseudocercospora fijiensis* Morelet (anamorfo), destaca como la principal amenaza fitosanitaria que enfrentan los productores bananeros a nivel mundial. Estos patógenos, caracterizados por su alta virulencia, pueden provocar pérdidas devastadoras, llegando a eliminar el 100% de la cosecha si no se implementan estrategias de control adecuadas que mantengan los niveles de infección por debajo del umbral económico (Cruz-Ortiz et al., 2020).

Figura 6.

Distribución mundial de Sigatoka negra.



Fuente: (CABI, 2021) <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.35278>

La Sigatoka Negra es una enfermedad que ataca a las hojas del banano, que a su vez también impacta severamente en el peso del racimo afectando la calidad de la fruta, los estudios han demostrado que cuando una planta de banano llega a la cosecha con menos de seis hojas viables, la reducción en el rendimiento se vuelve crítica, además la SN puede provocar una maduración temprana y prematura de los frutos ocasionando incluso la maduración en el mismo campo, estos racimos maduros se convierten en un imán para la mosca de la fruta por lo cual quedan descartados para la comercialización, incluso las frutas no maduras provenientes de plantas afectadas corren la misma suerte, ya que poseen una alta probabilidad de madurar durante el transporte hacia los mercados de destino (Islam et al., 2019).

2.5.6. Métodos de control para Sigatoka negra

La Sigatoka negra, presenta un desafío complejo que exige un enfoque integral para su control efectivo, la multiplicidad de factores que intervienen en el desarrollo de la enfermedad requiere la implementación de diversas estrategias que ataquen el problema desde diferentes ángulos. El conocimiento profundo de los síntomas, ciclo patológico y epidemiología del patógeno es fundamental para diseñar estrategias

preventivas que ayuden a disminuir la enfermedad, la complejidad del manejo se intensifica debido a los numerosos ciclos de reproducción sexual y asexual del hongo, así como la emisión frecuente de hojas en la plantación, lo que genera un escenario con plantas en diferentes estados fenológicos (Campo-Arana et al., 2020a).

En la zona bananera, el manejo efectivo de la Sigatoka negra se basa en dos pilares fundamentales: la observación de los síntomas presentes en el hospedero y la identificación de las estructuras fructíferas del hongo, además de la implementación de prácticas culturales como el deshoje, despunte, cirugía, manejo de arvenses, canales de drenaje, fertilización o control químico, otro método que también es utilizado es el uso de semilla certificada que juega un papel crucial en la prevención de la enfermedad (Conejo et al., 2019).

Durante muchos años, el manejo de la SN se basó principalmente en el uso de fungicidas sistémicos, sin embargo, la aparición de resistencia del hongo a diferentes moléculas químicas obligó a un cambio hacia el manejo integrado usando moléculas de acción múltiple, este enfoque integral que combina el conocimiento científico con prácticas culturales de control inteligente, ofrece la mejor esperanza para controlar la Sigatoka negra de manera efectiva. La investigación continúa en el desarrollo de nuevas herramientas de control que son esenciales para mantener la eficacia del manejo a largo plazo son vitales para garantizar la productividad de los cultivos de banano (Castellón-Mora et al., 2024).

2.5.7. Factores que favorecen el desarrollo de Sigatoka negra

Los estudios epidemiológicos de la Sigatoka negra son claves para comprender su comportamiento además de establecer estrategias de control efectivas, integrando el uso de fungicidas de manera inteligente. En un contexto de cambios climáticos, resulta crucial determinar si la dinámica de la enfermedad se ve afectada por estas variaciones, de esta manera, se podrán establecer correlaciones entre las variables climáticas como aquellas relacionadas al proceso de infección y desarrollo de los síntomas, permitiendo un manejo más preciso adaptándose a las condiciones específicas de cada región (Benavides et al., 2022).

Las regiones tropicales, con su alta pluviosidad y humedad, configuran un escenario propicio para el desarrollo de la Sigatoka negra, por consiguiente elevando considerablemente el manejo de esta enfermedad que azota al banano, de hecho, se estima que entre el 15% al 20% del precio final de la fruta se destina a cubrir los costos de las medidas fitosanitarias de control, entre las cuales se encuentra la aplicación de fungicidas mediante aviones, drones o helicópteros (Barreto Macías et al., 2019).

Según (M. Sánchez et al., 2021), manifiesta que la transmisión de la Sigatoka negra está estrechamente ligada a tres factores primordiales:

- a) **El viento:** Actúa como un vector de propagación, dispersando las esporas del hongo causante de la enfermedad, depositándolas en las hojas más jóvenes de la planta, donde encuentran condiciones favorables para germinar e iniciar la infección.
- b) **La lluvia:** Crea condiciones de humedad elevada que favorecen la supervivencia y la germinación de las esporas del hongo, acelerando la expansión de la enfermedad en el cultivo.
- c) **Los ríos:** La movilización desmedida de hojas enfermas a través de las corrientes fluviales las deposita en las riberas, donde se convierten en fuentes de inóculo que infectan nuevas plantaciones de banano a medida que el río continúa su curso.

Tabla 3.

Influencia de los factores climáticos en las diferentes fases del proceso de la enfermedad.

FASE	CONDICIÓN	FACTOR CLIMÁTICO
Esporulación	Hoja mojada	Lluvia
Diseminación	Escurrimiento de agua de hojas superiores a las inferiores (Conidios)	Lluvia

Germinación	Corrientes térmicas ascendentes (ascosporas)	Sol
	Película de agua sobre la hoja	Lluvia o alta humedad relativa

Fuente: (Zumba, 2020)

2.6. Manejo de Sigatoka negra: estrategias actuales

El control de la Sigatoka negra ha dependido históricamente de prácticas culturales como el deshierbe, anillado, deshoje, despunte temprano, cirugía; estas técnicas son realizadas cada 20-30 días en donde su eficacia se ve limitada, impulsando el uso de agroquímicos. Si bien estos productos pueden ofrecer un control temporal, su impacto negativo en el medio ambiente como también en la salud humana, obligan a repensar el enfoque actual de manejo explorando nuevas alternativas de control orgánico que coexistan en armonía con el ecosistema y promuevan mejores rendimientos en los cultivos alcanzando la sostenibilidad a largo plazo, (Cadena et al., 2021).

Lamentablemente, las prácticas de manejo de plagas en las plantaciones bananeras no siempre se llevan a cabo de manera adecuada, lo que representa una grave amenaza para la salud de los cultivos, así como la rentabilidad del sector, esta situación se debe, en gran medida, a la falta de seguimiento de los aspectos técnicos recomendados para el control efectivo de estas plagas. Es fundamental que las prácticas de manejo se basen en criterios técnicos sólidos además de implementarse de manera rigurosa, esto implica seguir las recomendaciones de especialistas, utilizar productos fitosanitarios de manera responsable, adoptar estrategias de control integrales que incluyan medidas preventivas, culturales, biológicas y químicas (Yáñez B et al., 2020).

Las metodologías de evaluación en campo, si bien son muy útiles presentan limitaciones considerables, su enfoque en la evaluación visual de síntomas que ya han causado daño fisiológico dificulta la detección como el control oportuno de la enfermedad, esto se traduce en una efectividad limitada de los fungicidas en etapas avanzadas de la Sigatoka negra, en otras palabras estas metodologías no permiten

determinar con precisión el nivel de inóculo presente en el ambiente ni la cantidad de eventos de infección efectivos que han ocurrido en la hoja, esta falta de información detallada impide una comprensión cabal de la dinámica de la enfermedad y la toma de decisiones acertadas para su manejo (Benavides López et al., 2023).

2.6.1. Control Físico

Este control está basado en la aplicación de agentes físicos para crear condiciones letales para las plagas, de modo que encuentra en la Sigatoka negra un formidable oponente. Si bien las diferentes prácticas como el uso de mulch plástico para bloquear la luz con el fin de evitar el crecimiento de malezas, la eliminación manual, el empleo de mallas para repeler aves e insectos además de las mantas térmicas tienen su lugar en el manejo agrícola, donde su eficacia se ve limitada ya que el hongo responsable de esta enfermedad, con su capacidad para reproducirse y dispersarse mediante ascosporas, encuentra en las finas mallas un obstáculo permeable (Jaramillo et al., 2019).

Las medidas enfocadas en el manejo de los suelos, aunque contribuyen a la salud general del cultivo, resultan poco efectivas contra este patógeno, ante esta realidad, el control físico cede protagonismo a otras estrategias como el control químico, microbiológico o cultural. La combinación de estas estrategias, cada una con sus fortalezas y debilidades ofrece mayores posibilidades de éxito en la lucha contra la Sigatoka negra, en definitiva, el control físico aunque útil en otras áreas del manejo agrícola no es suficiente para combatir esta enfermedad, la implementación de estrategias más abarcativas, que combinen diferentes métodos de control resulta fundamental para proteger el cultivo garantizando su rentabilidad (Velez Chang et al., 2021).

2.6.2. Control cultural: prácticas para reducir la inoculación

Según (Campo-Arana et al., 2020a), nos indica que el control cultural se basa en un conjunto de prácticas agrícolas que contribuyen a reducir la presencia del inóculo del hongo causante de la Sigatoka negra además de crear un ambiente menos favorable para su desarrollo. Entre estas prácticas se encuentran:

- a) **Cirugía:** La eliminación del tejido afectado de la hoja cuando presenta síntomas de manchas necróticas, conocida como "cirugía", es una medida crucial para controlar la enfermedad en sus etapas iniciales.
- b) **Deshoje:** La eliminación de hojas que presentan más del 50% de tejido necrosado evita que el hongo se propague a otras hojas sanas.
- c) **Manejo de la hojarasca:** El tratamiento adecuado de la hojarasca, acelerando su descomposición, permite aprovechar los nutrientes de la materia orgánica, al mismo tiempo, reduce la presencia de material vegetal en el suelo, lo que dificulta la supervivencia del hongo.
- d) **Drenaje:** La implementación de un sistema de drenaje eficiente contribuye a reducir la humedad relativa en el suelo y en el entorno de las plantas, creando un ambiente menos propicio para el desarrollo de la Sigatoka negra.
- e) **Riego suplementario:** En épocas de sequía, el riego suplementario ayuda a mantener un nivel adecuado de humedad en el suelo, lo que favorece el crecimiento vigoroso de las plantas por consiguiente las hace más resistentes a la enfermedad.
- f) **Fertilidad adecuada:** Un programa de fertilización equilibrado que este ajustado a las necesidades del cultivo garantiza que las plantas reciban los nutrientes necesarios para fortalecer su sistema inmunológico aumentando su capacidad de resistir el ataque del hongo.

2.6.3. Control biológico

La investigación, así como el desarrollo de nuevas alternativas biológicas para el control de la Sigatoka negra son esenciales para garantizar una producción bananera más sostenible y respetuosa con el ambiente, la adopción de estas alternativas por parte de los productores agrícolas contribuirá a proteger la salud humana, conservar la biodiversidad además de asegurar la seguridad alimentaria a largo plazo (Cabrera et al., 2020).

En la búsqueda de alternativas innovadoras para el control de Sigatoka negra, el Azufre y algunas bacterias benéficas, especialmente las cepas de *Bacillus spp.*, están ganando terreno; estudios in vitro han demostrado la capacidad de *Bacillus pumilus* para inhibir el crecimiento de *Mycosphaerella fijiensis*, alterando tanto la morfología como también la estabilidad de su membrana citoplasmática, lo que desencadena la

4autólisis celular, por consiguiente, la muerte del patógeno. Las cepas de *Bacillus* producen metabolitos secundarios como las fengicinas, que son lipopeptidos bioactivos con actividad antifúngica que actúan contra los filamentos fúngicos, alterando su permeabilidad y la síntesis de sus paredes celulares. Un fungicida microbiano a base de *Bacillus subtilis* ha demostrado ser tan efectivo como los fungicidas de la familia del mancozeb en el control de Sigatoka, reduciendo la severidad de esta enfermedad en rangos similares. (Pacheco et al., 2022)

El género *Trichoderma*, descubierto en 1871 ha sido objeto de amplias investigaciones, se encuentra de forma natural en una gran variedad de suelos agrícolas, su presencia es habitual en diferentes hábitats, especialmente donde abunda la materia orgánica o los desechos vegetales en descomposición, así como en residuos de cultivos. Diversas especies de *Trichoderma* han demostrado ser hiperparásitas de un amplio espectro de hongos fitopatógenos, atacándolos directamente además de provocar la lisis de sus micelios y esclerocios (Cadena et al., 2021).

El mismo autor nos indica que los mecanismos por los que las cepas del género *Trichoderma* desplazan al fitopatógeno se pueden clasificar en tres tipos fundamentales:

- a) **Competición directa:** Las cepas de *Trichoderma* compiten con el fitopatógeno por el espacio y los nutrientes disponibles en el suelo.
- b) **Producción de metabolitos antibióticos:** Algunas especies de estos hongos producen metabolitos de naturaleza volátil o no volátil que actúan como antibióticos, inhibiendo el crecimiento del fitopatógeno.
- c) **Parasitismo directo:** Ciertas especies de *Trichoderma* parasitan directamente a los hongos fitopatógenos, debilitándolos y destruyendo sus estructuras celulares.

2.6.4. Control Químico

El control químico de la Sigatoka Negra sigue siendo una de las tácticas más empleadas en las plantaciones bananeras, a pesar de los esfuerzos actuales por disminuir la carga química en la agricultura (Soares et al., 2021). Si bien la eficacia de

los fungicidas en el manejo de la enfermedad es ampliamente reconocida, su uso enfrenta desafíos importantes en un contexto de creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental, lamentablemente, la resistencia a los fungicidas es una realidad preocupante en muchas áreas de la producción, la resistencia a benzimidazoles, IDM y estrobilurinas es particularmente común, lo que limita la efectividad de estos productos exigiendo un uso más responsable de los fungicidas disponibles (Ricardo & Vicente, 2021).

Existe una amplia gama de fungicidas pertenecientes a diversos grupos químicos que se utilizan para combatir la Sigatoka Negra, entre los más comunes se encuentran triazoles, morfolinas, estrobilurinas, carboxamidas, guanidinas y protectantes como clorotalonil o mancozeb. La aplicación de fungicidas para el control de la Sigatoka Negra se realiza con frecuencia por vía aérea, lo que permite una cobertura rápida, así como uniforme de grandes extensiones de terreno. Para mitigar el riesgo de resistencia, se recomienda la alternancia de estos cinco grupos de ingredientes activos, además de seguir estrictamente las indicaciones de la FRAC (Comité de Acción de Fungicidas Resistentes) y del COMTEC (Comisión Mediterránea de Expertos en Técnica de Citroneros), esto implica rotar los fungicidas de diferentes grupos químicos evitando la mezcla o aplicación conjunta de clorotalonil con otros productos (Ricardo & Vicente, 2021).

2.7. Importancia de los fungicidas en el manejo de Sigatoka negra

El control de la Sigatoka negra (SN) en el banano se basa principalmente en el uso de fungicidas, estos productos químicos deben aplicarse de acuerdo con los lineamientos establecidos por el Comité de Acción de Fungicidas Resistentes (FRAC) para garantizar su eficacia evitando el desarrollo de resistencia, por tal motivo se tiene conocimiento de que la capacidad del patógeno *Mycosphaerella fijiensis* de resistir a los fungicidas es un problema creciente que exige un aumento en la frecuencia de las aplicaciones generando un desafío tanto económico como ambiental (Cervantes et al., 2021).

Los fungicidas juegan un papel fundamental en la protección de las plantas contra las enfermedades, su acción puede ser preventiva, creando una barrera protectora sobre la superficie de las hojas para evitar el ingreso del patógeno, o curativa, eliminando a

los patógenos que ya han infectado la planta. Además de estos dos tipos básicos, existen tratamientos químicos que se enfocan en reducir la cantidad de inóculo antes de que este entre en contacto con la planta, entre ellos se encuentran la fumigación del suelo, la desinfección de almacenes y el control de insectos vectores de enfermedades (Arias et al., 2022).

El mismo autor indica que en el caso de la Sigatoka negra, existen dos programas de fumigación distintos: uno para el verano y otro para el invierno, en el pasado las campañas invernales se basaban principalmente en el uso de productos sintéticos, incluso bloqueando los triazoles, con un enfoque puramente curativo. En la actualidad esta estrategia ha evolucionado hacia un enfoque preventivo teniendo una función protectora, alternando tanto fungicidas sistémicos con protectantes.

2.7.1. Consideraciones para la selección y uso de fungicidas

El uso intensivo de fungicidas de las familias Triazoles y Morfolinas desde la década de 1990 para controlar el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, causante de la Sigatoka negra, ha generado una creciente preocupación por la posible pérdida de sensibilidad a estos fungicidas. Esta resistencia a los Triazoles como también a las Morfolinas plantea un nuevo desafío: la aplicación de nuevos grupos químicos, como Anilino pirimidinas, Estrobilurinas, podría desencadenar una resistencia cruzada, limitando aún más las opciones para combatir la enfermedad. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que estos nuevos grupos químicos podrían ser útiles para reducir la pérdida de sensibilidad a los fungicidas anteriormente mencionados, no obstante, la realidad es preocupante puesto que estudios demuestran la existencia de graves problemas de resistencia cruzada entre fungicidas del mismo grupo químico, como Benzimidazoles (Benomilo, Carbendazim, Metiltiofanato), Triazoles y Estrobilurinas (inhibidores de Qo) (García-Munguía et al., 2022).

Los coadyuvantes juegan un papel crucial en la mejora de la eficacia de los tratamientos foliares, actuando como aliados indispensables en la aplicación de fungicidas, fertilizantes incluso otros productos agrícolas, su función principal radica en optimizar la cobertura y persistencia del ingrediente activo o de los elementos minerales sobre la superficie de las hojas. Las limitaciones en la absorción foliar de

fungicidas han impulsado la búsqueda generalizada de coadyuvantes en la agricultura, estos productos representan una herramienta invaluable para maximizar la eficacia de los tratamientos foliares, reduciendo la cantidad de producto necesario por consiguiente minimizando el impacto ambiental (Casas et al., 2021) .

2.8. Clases de fungicidas y su modo de acción

Controlar exitosamente al patógeno *Mycosphaerella fijiensis* exige una estrategia multifacética, en la cual se incluye la aplicación sistémica de fungicidas de contacto y fungicidas sistémicos, tanto preventivos como curativos (Seydou et al., 2021), basado en un calendario (Silva et al., 2024).

CABI (2021) señala que el control de la Sigatoka negra, se basa en la aplicación de fungicidas. Entre los más utilizados se encuentran:

2.8.1. Triazoles:

- **Eficacia:** Controlan un amplio espectro de hongos fitopatógenos, incluyendo ***Pseudocercospora fijiensis***.
- **Ejemplos:** Tebuconazol, propiconazol, epoxiconazol, difeconazol.

2.8.2. Morfolinas:

- **Acción:** Inhiben la síntesis de ergosterol, un componente esencial de la membrana celular del hongo.
- **Ejemplos:** Bifenapryl, piraclostrobin.

2.8.3. Benzimidazoles:

- **Modo de acción:** Interfieren con la formación de tubulina, un componente estructural del hongo.
- **Ejemplos:** Tiabendazol, carbendazim (uso restringido debido a alta resistencia).

2.8.4. Carbamatos:

- **Efecto:** Inhiben la acetilcolinesterasa, una enzima esencial para el funcionamiento del sistema nervioso del hongo.
- **Ejemplos:** Mancozeb, propineb.

2.8.5. Protectantes:

- **Función:** Forman una barrera física en la superficie de la hoja, previniendo la infección por el hongo.
- **Ejemplos:** Clorotalonil (uso limitado por alta resistencia).

Paladines-Montero et al. (2022), menciona que la frecuencia de las aplicaciones de fungicidas depende de la presión del inóculo, es decir, de la cantidad de esporas del hongo presentes en el ambiente. En países con alta presión de esta enfermedad, se requieren fumigaciones regulares para mantener un control eficaz, teniendo en cuenta esto, el uso intensivo de fungicidas en el cultivo de banano para exportación, ha generado dos problemas importantes:

- **Elevado costo del control:** Los fungicidas son insumos costosos, lo que incrementa significativamente los gastos de producción.
- **Resistencia del hongo:** El uso excesivo de algunos fungicidas, como el benomilo, el propiconazol y la oxistrobina, ha provocado que el hongo causante de la Sigatoka negra desarrolle resistencia a estos productos, reduciendo su efectividad.

2.9. Fungicidas sistémicos: características y mecanismo de acción

En la batalla contra la Sigatoka Negra, los productores bananeros cuentan con un arsenal de fungicidas comerciales, diversos en sus características y modos de acción. Estos productos se aplican mediante técnicas de aspersion, simulando una lluvia fina sobre las plantaciones para garantizar una cobertura uniforme (Galindo et al., 2024). A continuación, presentamos algunos de los fungicidas más reconocidos en la lucha contra esta enfermedad:

a) **Fungicida Cumora®** (BASF, 2024a)

El fungicida Cumora® inhibe el proceso de respiración celular efectuando un excelente poder de retención ayudando a ampliar los intervalos de aplicación.

Incluso en etapas avanzadas de la enfermedad.

Modo de acción

Cumora® es un fungicida sistémico que tiene actividad preventiva, curativa, actuando como protector. Su medio de absorción es foliar de tal forma que su mecanismo de acción reside en la inhibición de la germinación de las esporas, desarrollo, penetración de los tubos germinativos, crecimiento del micelio y esporulación del hongo.

Principio Activo	Boscalid
Formulación	Suspensión concentrada (SC)
Clasificación Toxicológica	Clase IV

b) **Fungicida Volley®** (BASF, 2024c)

Volley® es un fungicida sistémico que tiene actividad preventiva, curativa actuando como protectante. Su medio de absorción es foliar y su mecanismo de acción reside en la inhibición de la germinación de las esporas del hongo.

Ingrediente activo	Fenpropimorf
Formulación	Líquido miscible
Clasificación Toxicológica	Clase IV

c) **Fungicida Polyram® DF** (BASF MEXICANA, 2024)

El fungicida Polyram® DF tiene una formulación y tamaño de partícula le permite incrementar su actividad y adherencia, además presenta fácil y rápida suspensión y dispersión.

Principio Activo	Metiram
Formulación	Microgranulado dispersable en agua
Clasificación Toxicológica	Clase V

d) **Fungicida Opus®** (BASF, 2024b)

Opus® es un fungicida a base de epoxiconazol del grupo de los triazoles, inhibidor del ergosterol, con acción sistémica.

Principio Activo	Epoxiconazol
Formulación	Suspensión Concentrada
Clasificación Toxicológica	Clase IV

2.10. Fungicidas sistémicos químicos: propiconazole y tebuconazol

Los fungicidas triazoles se posicionan como defensores de amplio espectro en la lucha contra las enfermedades causadas por hongos ascomicetos, deuteromicotinas y basidiomicetos. Su mecanismo de acción reside en la inhibición de la C-14- α -desmetilasa del citocromo P450, una enzima crucial para la biosíntesis de ergosterol en los hongos patógenos, al interrumpir este proceso esencial, los triazoles dañan la integridad de las membranas celulares del hongo, debilitándolo en su desarrollo (Gu et al., 2023).

2.10.1. El tebuconazol:

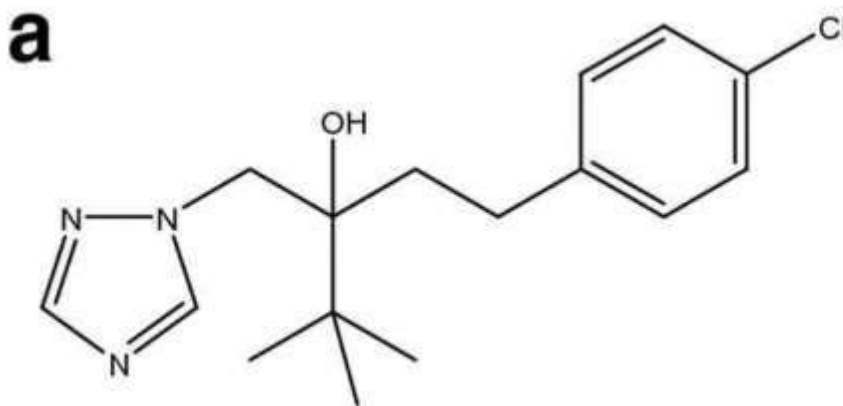
Destaca como uno de los pesticidas más vendidos a nivel mundial, siendo ampliamente utilizado para el control de diversas enfermedades fúngicas en las plantas. Su eficacia lo convierte en una herramienta valiosa para la protección de cultivos (Gu et al., 2023).

Tebuconazole se presenta como un fungicida sistémico de alcance medio con una triple acción: preventiva, curativa y erradicante. Su rápida penetración foliar le permite ser transportado a través de los flujos ascendentes de la planta (sentido acrópeto por

la xilema), protegiendo los puntos de crecimiento o meristemos, pertenece al grupo de los IBE (Inhibidores de la biosíntesis de ergosterol), un componente esencial de las membranas celulares de los patógenos. Su acción específica se centra en el grupo G1 (fungicidas DMI), donde inhibe la desmetilación del paso C14 del lanosterol, esta inhibición provoca la acumulación de trimetilesteroles además de otros esteroides, alterando la estructura funcional de las membranas celulares del hongo, lo que finalmente conduce a su muerte (De Liñan, 2024).

Figura 7.

Estructura química de Tebuconazol.



Fuente: (Schoknecht et al., 2020)

2.10.2. El propiconazol:

Por su parte, el propiconazol se presenta como un **triazol sistémico** con **poderosa actividad fungicida** que actúa como un freno en el crecimiento de hongos en una amplia gama de vegetales, incluyendo frutas, verduras y cereales. Su aplicación se extiende a campos de cultivo, donde se utiliza comúnmente como pulverización foliar para proteger las cosechas de las plagas fúngicas (Gu et al., 2023).

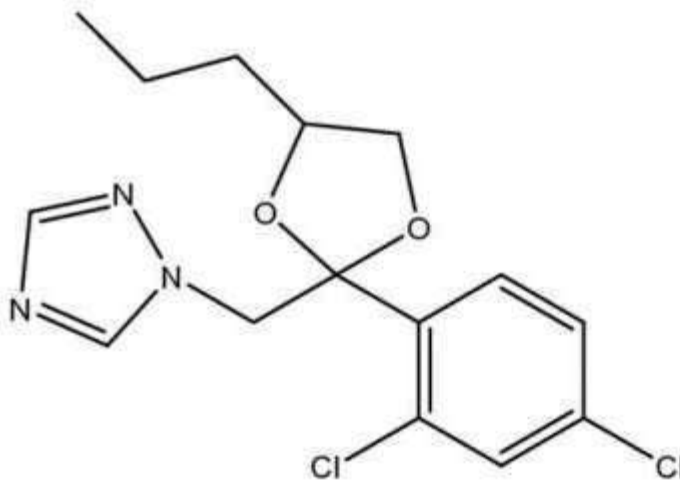
Una vez aplicado Propiconazole, se traslada a través del xilema de la planta en dirección ascendente (traslocación acrópeta); cuando el producto ingresa a la planta ejerce su acción protectora controlando al patógeno desde las primeras etapas de su desarrollo, inhibiendo la formación del austorio. El poder de Propiconazole reside en su capacidad para interrumpir la biosíntesis del ergosterol, un componente esencial

de la membrana celular de los hongos, esta acción bloquea el crecimiento además de la reproducción, debilitándolos y eliminándolos (De Liñan, 2024).

En suelos aerobios, la vida media de Propiconazole a 25 °C se sitúa entre **40 a 70 días**, luego de pasado este tiempo sufre su degradación transformándose en 1,2,4-triazol un compuesto menos dañino para el medio ambiente. Existen estudios que indican que la luz solar juega un papel importante en la degradación

Figura 8.

Estructura química de Propiconazole



Fuente: (Schoknecht et al., 2020)

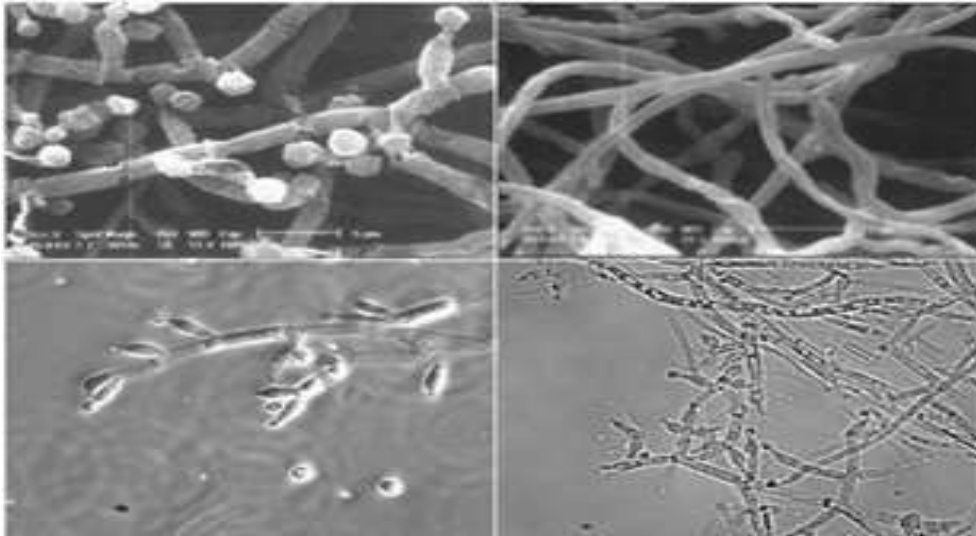
2.11. Biofungicidas: características y potencial

El biocontrol emerge como una alternativa prometedora para combatir la Sigatoka Negra, una enfermedad que amenaza el rendimiento del banano, esta estrategia se basa en el uso de organismos vivos, verdaderos aliados en la lucha contra las plagas. En el caso específico la SN se han desarrollado diversos hongos antagonistas capaces de competir con el patógeno por los recursos esenciales para su supervivencia. Estos hongos "guerreros", como *Trichoderma harzianum* (Figura 7) y *Metarhizium anisopliae* (Figura 8), no solo compiten por nutrientes, sino que también

producen sustancias antifúngicas que logran debilitar al hongo patógeno (Galindo et al., 2024).

Figura 9.

Trichoderma harzianum microscopía electrónica (arriba) y óptica (abajo).

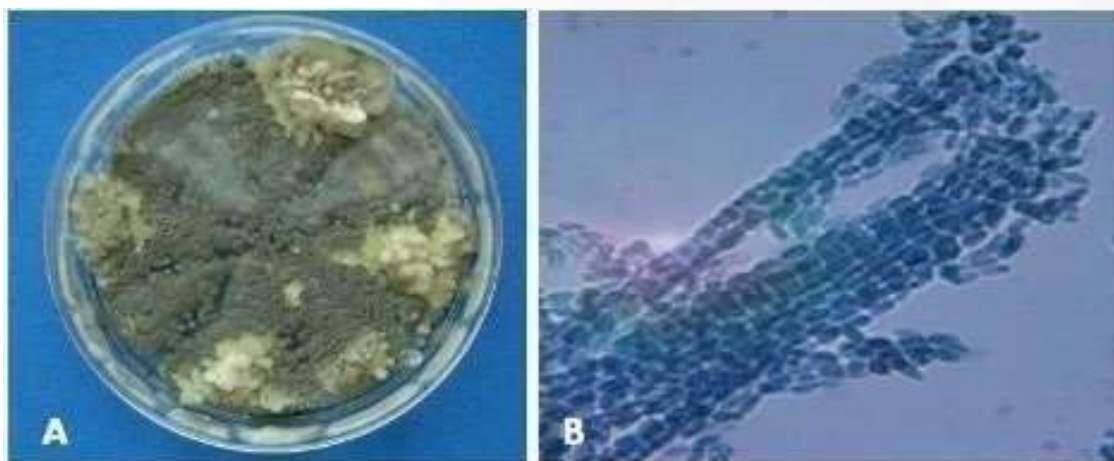


Fuente:(Galindo et al., 2024)

Las bacterias también se unen a la batalla, especies como *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* se suman al arsenal del biocontrol produciendo sustancias antifúngicas que actúan como escudos protectores para las plantas, previniendo la infección por el hongo de la Sigatoka (Galindo et al., 2024).

Figura 10.

Características macroscópicas y microscópicas de Metarhizium anisopliae.



Fuente: (Padilla González et al., 2022)

2.11.1. Formulaciones comerciales y métodos de aplicación

a. TIMOREX GOLD (BIOMOR, 2024)

Timorex Gold[®] es un biofungicida de contacto a base del extracto de la planta *Melaleuca alternifolia*, gracias a sus múltiples componentes controla un amplio espectro de enfermedades fúngicas y bacterianas en diversos cultivos, incluyendo arroz, banano, berries, café, cacao, frutas, hierbas y vides, además de ser un producto ecológico y libre de residuos.

Timorex Gold[®] tiene la capacidad de inhibir la expansión de lesiones en follaje y frutos. Dadas sus propiedades lipófilas, es capaz de penetrar a través de la barrera de la cutícula hasta el mesófilo, permitiendo prevenir o inhibir el desarrollo fúngico en el tejido. La actividad preventiva y curativa de Timorex Gold lo convierte en un biofungicida con un nuevo concepto para el control eficaz y sostenible de diversas enfermedades en el tiempo.

b. ERENADE (Bayer, 2020)

Suspensión Concentrada (SC).

INGREDIENTES ACTIVOS: *Bacillus subtilis*, cepa (QST 713) 1×10^9 ufc/g 1.34%.

FORMULACIÓN Y CONCENTRACIÓN: SERENADE® es una suspensión concentrada de *Bacillus subtilis* (Cepa QST 713) 1.34% Aditivos 98.66%, con 13,4 gramos de ingrediente activo por litro de producto comercial.

ACCIÓN FITOSANITARIA

SERENADE® se posiciona como un fungicida biológico de amplio espectro que brinda una protección multisitio contra una amplia gama de hongos fitopatógenos. Su modo de acción único lo convierte en una herramienta eficaz para el control de enfermedades en diversos cultivos.

SERENADE® actúa como un escudo invisible en la superficie de las hojas, creando una zona de inhibición que bloquea el avance de los patógenos. De esta manera, previene el ataque de hongos fitopatógenos antes de que puedan causar daños a las plantas.

Su eficacia reside en su multitud de modos de acción:

- Destrucción del tubo germinativo: Impide que los hongos germinen y crezcan, deteniéndolos en sus primeras etapas de desarrollo.
- Eliminación del micelio: Ataca el micelio, la estructura vegetativa del hongo, debilitando su capacidad de absorber nutrientes y agua.
- Alteración de la membrana celular: Provoca daños en la membrana celular del hongo, afectando su funcionamiento y supervivencia.

c. SONATA (BAYER, 2020)

SUSPENSION CONCENTRADA (SC).

INGREDIENTE ACTIVO: *Bacillus pumilus* raza QST 2808.

FORMULACIÓN Y CONCENTRACIÓN: SONATA® es una suspensión concentrada que contiene 14,3 gramos de *Bacillus pumilus* raza OST 2808 por litro de producto comercial.

ACCIÓN FITOSANITARIA

SONATA® se presenta como un fungicida biológico de acción protectante multisitio, ofreciendo una defensa robusta contra los hongos que amenazan los cultivos. Su modo de acción preventivo lo convierte en una herramienta eficaz para controlar o suprimir diversas enfermedades fúngicas.

SONATA® funciona a base de una cepa específica de *Bacillus pumilus* QST 2808, una bacteria beneficiosa que actúa como un escudo natural para las plantas. Esta bacteria no solo ataca a los hongos directamente, sino que también estimula las defensas naturales de las plantas, haciéndolas más resistentes a las enfermedades.

SONATA® combate a los hongos en dos frentes:

- Destrucción desde adentro: Produce un aminoazúcar que actúa como una toxina para los hongos, interrumpiendo su metabolismo celular y destruyendo sus paredes celulares.
- Barrera protectora: Crea una zona de inhibición en la superficie de la planta, impidiendo que los hongos se adhieran y se establezcan, previniendo así la infección.

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación aplicada fue la experimental, la misma que buscó determinar el efecto de las diferentes fórmulas de microorganismos biocontroladores en el control de la sigatoka negra. El nivel de conocimiento de la investigación fue:

- **Exploratorio:** La investigación busca identificar el comportamiento de la enfermedad y la respuesta de los microorganismos biocontroladores en condiciones controladas.
- **Descriptivo:** Se caracteriza por la medición y descripción detallada de las variables relacionadas con la enfermedad así como el efecto de los biocontroladores.
- **Explicativo:** Se busca establecer relaciones causales entre las variables, es decir, determinar cómo las diferentes fórmulas de microorganismos biocontroladores afectan el desarrollo de la sigatoka negra.
- **Cuantitativo:** La investigación cuantitativa busca resultados objetivos que sean generalizables, basándose en datos medibles y replicables. Los números se convierten en un lenguaje universal que permite comparar resultados contribuyendo a un conocimiento sólido.

3.2. La población y la muestra

El ensayo experimental tuvo lugar en la zona de Puerto Inca, cantón Naranjal, en la provincia del Guayas, en un lote donde se desarrolla una plantación de banano de propiedad de la empresa FUMIPALMA S. A.

3.2.1. Características de la población

El presente estudio se enfoca en la evaluación del potencial controlador de productos de composición biológica (bacterias del género *Bacillus* y hongo del género *Trichoderma*) frente a productos químicos comúnmente utilizados en el manejo de plagas y enfermedades agrícolas. Se incluye un tratamiento testigo sin aplicación de ningún producto, con el objetivo de establecer una comparación de base.

Los productos se aplicaron siguiendo las recomendaciones de los fabricantes, considerando la dosis, frecuencia y método de aplicación específicos para cada producto, la idea de la investigación era demostrar que los biológicos presentan un mejor comportamiento de control además que como ventaja se impone que son productos amigables con el ambiente.

El detalle de la composición, concentración del ingrediente activo, la presentación de la molécula y la dosis de los productos empleados en el ensayo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 4.

Descripción de la información técnica de los productos comerciales evaluados en el ensayo

PRODUCTO	I.A	CONCENTRACIÓN	FORMULA	DOSIS (L/Ha)	Gramos i.a/Ha
		g.i.a (PC)			
DINAMICS	<i>Esporas de Trichoderma spp.</i>	1x10 ⁸ UFC	Líquido soluble	1	1x10 ⁸ UFC
BACTISOIL	<i>Bacillus atrophaeus B. velezensis y Azospirillum brasilense</i>	1.1x10 ⁹ UFC 1.1x10 ⁹ UFC 1.0x10 ⁹ UFC	Líquido soluble	1	1.1x10 ⁹ UFC 1.1x10 ⁹ UFC 1.0x10 ⁹ UFC
NOMAD	Propiconazole	300 g/l	Concentrado Emulsionable	0.4	120 g
	Tebuconazole	200 g/l			80 g
BANOLE	Aceite mineral parafínico	1000 g	Líquido	3.785	3785 g
TESTIGO					

I.A= Ingrediente activo

g.i.a (PC)= gramos de ingrediente activo de producto comercial

i.a/Ha= ingrediente activo por hectárea

Nota. En la tabla se presenta la descripción de toda la información técnica de los productos tomado de la respectiva ficha técnica

3.2.2. Delimitación de la población

El área ocupada para el desarrollo del estudio fue de 1500 m² con parcelas de 30 x 50 m en el que se distribuyeron 8 tratamientos y 4 repeticiones, la descripción se detalla en la Tabla 3 a continuación:

Tabla 5.

Delimitación del experimento

Descripción	Unidad
Número de tratamientos	5
Número de repeticiones	4
Ancho de parcela	30 m
Longitud de parcela	50 m
Área total del ensayo	1500 m ²

Nota. Esta tabla muestra la delimitación del experimento por lo que describe las características de las parcelas experimentales y área total del ensayo.

3.2.3. Tipo de muestra

La muestra la constituyó el hongo *Mycosphaerella fijiensis* causante de la enfermedad Sigatoka negra en plantaciones de banano.

3.2.4. Tamaño de la muestra

La muestra observada fueron la primera, segunda y tercera hoja de las plantas de la parcela experimental. La unidad experimental estuvo constituida por hoja 1, hoja 2, hoja 3 de un total de 40 plantas.

3.2.5. Proceso de selección de la muestra

Se observó semanalmente el apareamiento de las manchas características como daño visible de la acción del hongo patógeno *M. fijiensis* en la primera, segunda y tercera hoja de las plantas de cada tratamiento del ensayo de antes y después de las aplicaciones con los productos. Para esto se aplicó la escala de Stover.

3.3. Los métodos y las técnicas

3.3.1. Diseño de la investigación

El diseño experimental empleado fue el de bloques completos al azar donde mediante 4 repeticiones (bloques) se evaluaron 4 tratamientos más un testigo.

3.3.1.1. Fase única. El método utilizado fue el experimental el cual permitió comparar el efecto de los tratamientos en el biocontrol de la sigatoka negra. Para esto se sometió plantas de banano de 10 semanas de vida en una parcela experimental; para las fórmulas evaluadas en cuyo contenido existieron microorganismos, mezcla de ellos e inclusive productos químicos los que fueron comparados con un grupo control que no recibió ningún tratamiento para evaluar su efectividad.

3.3.1.2. Registro y toma de datos.

La recolección de datos para cada variable se realizó semanalmente durante un período de 10 semanas, desde la aplicación de los tratamientos biológicos y químicos hasta la finalización del estudio. Los datos se registraron meticulosamente en una libreta de campo, siguiendo un protocolo estandarizado para garantizar la precisión y confiabilidad de la información.

El estudio se llevó a cabo en un área experimental de 1500 m², dividida en 16 hileras y 9 columnas, con una distancia de siembra de 3 m x 3 m entre plantas. Esta configuración permitió establecer un diseño experimental adecuado para evaluar el efecto de los tratamientos en un área representativa del cultivo de banano.

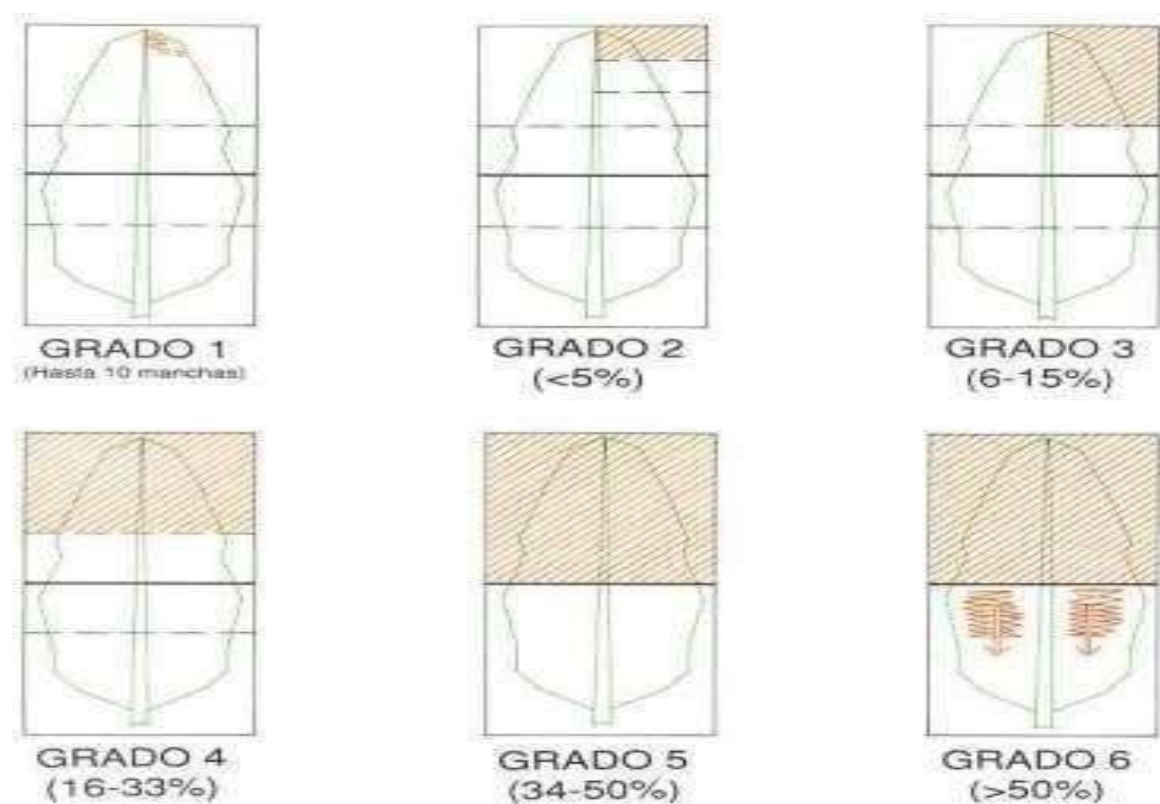
El cultivo de banano utilizado en el estudio tenía 10 semanas de edad al momento de la aplicación de los tratamientos y formaba parte de una parcela experimental de la

empresa FUMIPALMA S.A. Esta compañía cuenta con experiencia en el manejo de cultivos bananeros y ha proporcionado las condiciones adecuadas para la realización del estudio.

3.3.1.3. Grados De Severidad Siguiendo El Modelo De Stover Modificado.

Figura 11.

Grados de severidad de la sigatoka negra de acuerdo a la escala de Stover modificada por Gauhl.



Nota. Se evalúa los grados de severidad de acuerdo al porcentaje de área afectada en las hojas, identificado a los tratamientos con efecto inhibitorio sobre Sigatoka negra.

3.3.1.4. Productos empleados en el ensayo para el control de la Sigatoka negra.

A continuación, se detallan los productos empleados en el ensayo práctico:

Bactisoil. Es un producto que posee una alta concentración de bacterias solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno. Bactisoil es un producto en presentación líquida a base de *Bacillus atrophaeus*, *Bacillus velezensis* y *Azospirillum brasilense*.

Bacterias en forma de esporas logran colonizar de una manera más eficiente la zona radicular. Su formulación única con 24 componentes (carbohidratos, minerales, proteínas y amino ácidos) incrementan el peso fresco del fruto, número de frutos y rendimiento final (BIOPRODUCTOS LAGUNEROS, 2024).

Tabla 6.

Composición del producto Bactisoil

<i>Bacillus atrophaeus</i>	1.1x10 ⁹ UFC/ml
<i>Bacillus velezensis</i>	1.1x10 ⁹ UFC/ml
<i>Azospirillum brasilense</i>	1.0x10 ⁹ UFC/ml

Fuente: (BIOPRODUCTOS LAGUNEROS, 2024)

Nota. Información de la hoja técnica del producto

Reproducción de esporas en campo: 24 horas post aplicación

Composición: 100% de esporas activas

DINAMICS. Este hongo a nivel de rizósfera puede colonizar superficies radiculares enteras, *Trichoderma* puede penetrar entre la primera y segunda capa celular en los tejidos radiculares alojándose entre los espacios intercelulares. Esta importante interacción induce cambios en el metabolismo de la planta que conduce a la acumulación de sustancias inductoras de resistencia tanto para factores bióticos como abióticos. *Trichoderma* es un promotor del crecimiento vegetal, debido a la producción de auxinas que reducen el etileno; además con la producción de ácidos orgánicos como glucónico, fumárico y cítrico disminuye los niveles de pH en el suelo lo que permite la solubilización de fosfatos, así como minerales de hierro, manganeso,

magnesio que son vitales para el metabolismo de las plantas (BIOSIEMBRA NATURE´S, 2024)

Tabla 7.

Composición del producto Dinamics.

<i>Trichoderma spp</i> en	1x10 ⁸ UFC/ml (1x10 ⁹ UFC/Litro)
concentración:	(1,000,000,000 Unidades Formadoras Colonias/Litro)

Fuente: (BIOSIEMBRA NATURE´S, 2024)

Nota. Información de la hoja técnica del producto

Reproducción de esporas en campo: 24 horas post aplicación

Composición: 100% de esporas activas

NOMAD Ambos ingredientes activos pertenecientes al grupo de los Triazoles, actúan como inhibidores de la biosíntesis del ergosterol, interviniendo de esta manera en el metabolismo de los hongos susceptibles, el desarrollo de paredes celulares y cuerpos reproductivos (AVGUST, 2024).

Ingrediente	activo:
Propiconazole.....	300 g/L
Tebuconazole.....	200 g/L
Excipientes c.s.p.....	1 L

Tabla 8.*Propiedades Físico-químicas del producto comercial NOMAD.*

GRUPO QUÍMICO:	Triazoles		
CÓDIFO FRAC:	G1, 3		
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS:	Solubilidad	pH	Presión de vapor
	Propiconazole: 100 g/L Tebuconazole: 36 g/L	7 - 9	Propiconazole: 0.056 (mPa) a 20 °C Tebuconazole: 1.30 x 10-03 (mPa) a 20 °C
	Kow	Densidad	PM
	Propiconazole: 3.72 a 25°C, pH 6,6 Tebuconazole: 3.7 a 20°C	1110 - 1140 kg/m ³ a 20 °C	Propiconazole: 342.22 kg/mol Tebuconazole: 307.82 kg/mol

Fuente:(AVGUST, 2024)

BANOLE. Es un aceite agrícola biodegradable diseñado para los tratamientos aéreos destinados a combatir la Sigatoka del banano. Su composición molecular se distingue de los aceites agrícolas tradicionales, gracias a la implementación de un método de producción contemporáneo. Las propiedades físico-químicas de este aceite explican su impacto positivo en el cultivo, evidenciándose en términos de eficacia y selectividad (AFECOR, 2024).

Tabla 9.*Componentes y formulación del producto BANOLE.*

PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS	
Ingrediente Activo:	Aceite mineral parafínico
Concentración	1000 g/l
Formulación:	Líquido (L)

Fuente: (AFECOR, 2024)

Nota. En esta tabla se muestran las principales características fisicoquímicas de BANOLE.

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación fueron analizados mediante el ADEVA y la diferenciación de medias a través de la prueba de Fisher ($P>0,05$). Cabe recalcar que estos resultados se obtuvieron con la metodología de Hoja simple, donde únicamente interviene la hoja de cada unidad experimental.

Tabla 10.

Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja1

TRATAMIENTO	% AREA AFECTADA HOJA 1
NOMAD	7,5
DINAMIC	8,41
BACTISOIL	13
BANOLE	11,25
TESTIGO	70,333

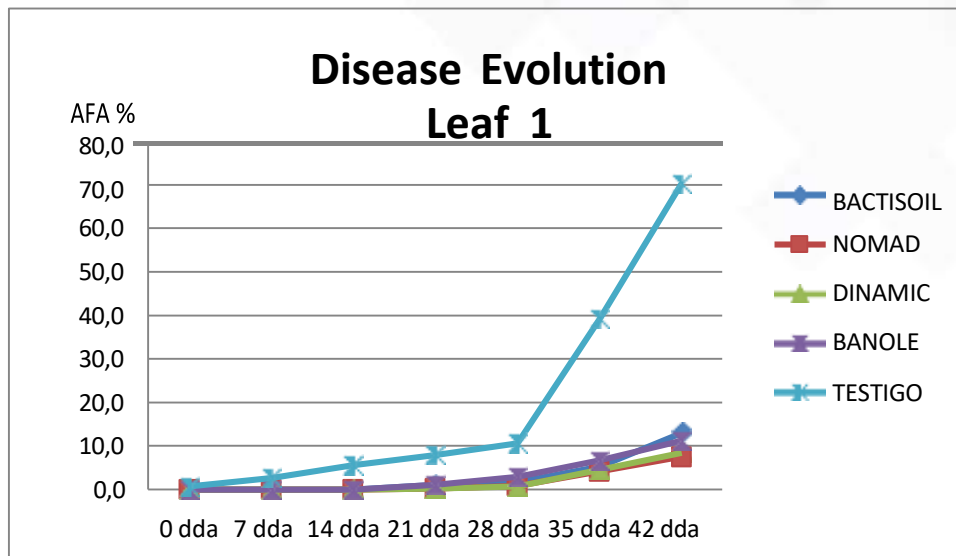
Nota. La tabla muestra el porcentaje área foliar afectada y el tratamiento que mejor inhibió el desarrollo de la enfermedad.

El Porcentaje de Área Foliar Afectada (% AFA) es una medida utilizada en fitopatología para cuantificar el daño causado por enfermedades en la superficie foliar de una planta. Se calcula como el porcentaje del área total de las hojas que se encuentra afectada por la enfermedad o el estrés.

El % AFA es una herramienta importante para evaluar el impacto de enfermedades y otros factores estresantes en la salud y el rendimiento de las plantas. Es especialmente útil en la investigación agrícola y en la toma de decisiones sobre el manejo de cultivos, ya que proporciona una medida cuantitativa del grado de daño y permite comparar diferentes tratamientos o condiciones de cultivo.

Figura 12.

Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja1



Nota: Curva de crecimiento de área foliar afectada.

NOMAD: Con un % AFA de 7,5, este tratamiento muestra el nivel más bajo de afectación en las hojas.

DINAMIC: Con un % AFA de 8,41, este tratamiento también muestra una afectación baja en las hojas, lo que indica una eficacia aceptable en la protección contra la enfermedad o el estrés.

BACTISOIL: Con un % AFA de 13,01, este tratamiento muestra una afectación baja en las hojas, lo que indica una eficacia aceptable en la protección contra la enfermedad o el estrés.

BANOLE: Con un % AFA 11,25 para este tratamiento, lo que indica que la enfermedad no ha progresado más en comparación con otros tratamientos en la lista.

TESTIGO: Con un % AFA de 70,33, este tratamiento muestra la mayor afectación en las hojas, lo que indica una falta de protección contra la enfermedad o el estrés.

Tabla 11.

Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja 1

TRATAMIENTO	AUDPC HOJA 1
NOMAD	90,07
DINAMIC	97,53
BACTISOIL	147,82
BANOLE	154,7
TESTIGO	957,55

Nota. La tabla proporciona información sobre los diferentes tratamientos y su efectividad en el control de una enfermedad a lo largo del tiempo, representada por el valor de la variable AUDPC (Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad) en la HOJA 1.

El Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (AUDPC), es una medida utilizada en epidemiología y fitopatología para cuantificar la severidad y la velocidad de progresión de una enfermedad en un determinado período de tiempo. La AUDPC se calcula trazando una curva que representa la acumulación de los síntomas de la enfermedad, por ejemplo, el número de lesiones en las plantas, en función del tiempo.

La interpretación de la AUDPC es que cuanto mayor sea su valor, mayor será la severidad de la enfermedad y/o más rápido progresa. Por lo tanto, los resultados obtenidos indican la eficacia de los tratamientos en el desarrollo de la enfermedad.

NOMAD: Este tratamiento tiene el menor valor de AUDPC en la HOJA 1, con un valor de 90,07. Esto indica que, en promedio, la enfermedad progresó menos en las plantas tratadas con otros tratamientos.

DINAMIC: Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 97,53. Aunque es más alto que BACTISOIL, indica que la enfermedad progresó menos en comparación con algunos otros tratamientos como CONTROL.

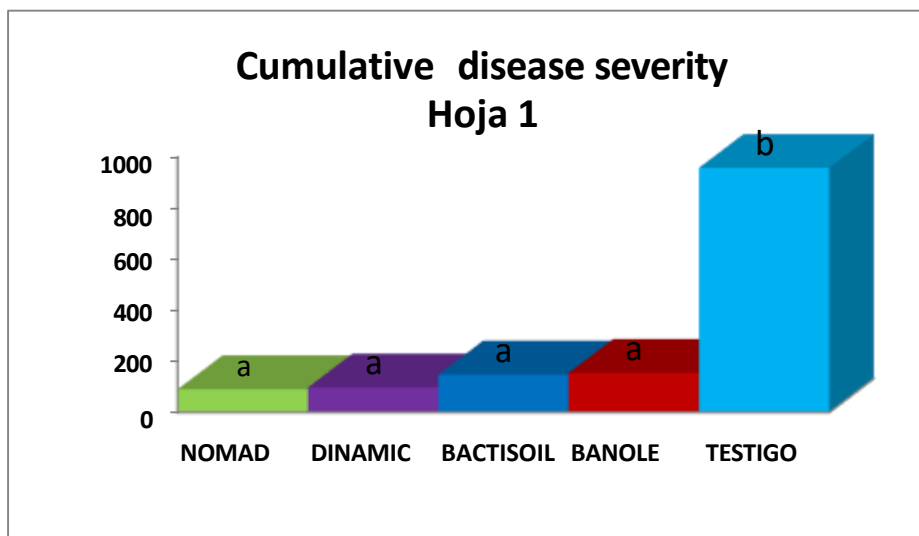
BACTISOIL: Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 147,82, lo que indica que resultó en un nivel moderado de control de la enfermedad en comparación con otros tratamientos.

BANOLE: El valor de AUDPC para este tratamiento es de 154,7 lo que sugiere que la eficacia en el control de la enfermedad es inferior a la de los tratamientos anteriores.

CONTROL: Este tratamiento tiene el valor más alto de AUDPC en la lista, con un valor de 957,55. Esto indica que las plantas control tienen un progreso significativo de la enfermedad en comparación con todos los otros tratamientos.

Figura 13.

Diferentes tratamientos y sus respectivos valores de AUDPC en la HOJA 1



Nota. La figura proporciona información sobre los diferentes tratamientos y sus respectivos valores de AUDPC (Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad) en la HOJA 1. También incluye una comparación de medias que utiliza letras para indicar si existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

En esta figura 13. Observamos que los tratamientos son similares entre sí y diferentes al testigo absoluto, los tratamientos NOMAD-DINAMIC-BACTISOIL-BANOLE, se diferencia con la letra A y el testigo con la letra B, en conclusión, a lo largo de las evaluaciones los diferentes productos aplicados a base de *Bacillus* y *Trichoderma* ,

tienen similitud en el control de la enfermedad con el fungicida químico (NOMAD), inhibiendo el desarrollo de la enfermedad en hoja 1.

Tabla 12.

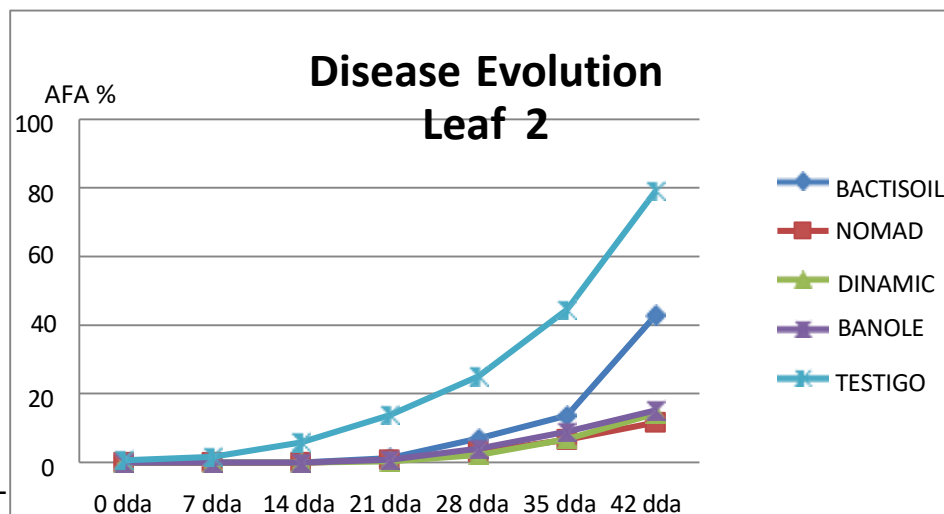
Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2.

TRATAMIENTO	% AREA AFECTADA HOJA 2
NOMAD	
DINAMIC	14,33
BACTISOIL	42,92
BANOLE	15,25
TESTIGO	79,08

Nota. La tabla muestra el porcentaje área foliar afectada y el tratamiento que mejor inhibió el desarrollo de la enfermedad.

Figura 14.

Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2



Nota. L os y sus respectivos valores de AUDPC (Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad) en la HOJA 2. También incluye una comparación de medias que utiliza letras para indicar si existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

NOMAD: Con un % AFA de 11.67, este tratamiento muestra el nivel más bajo de afectación en las hojas.

DINAMIC: Con un % AFA de 14.33, este tratamiento también muestra una afectación baja en las hojas, lo que indica una eficacia aceptable en la protección contra la enfermedad o el estrés.

BACTISOIL: Con un % AFA de 42.92, este tratamiento muestra una afectación moderada en las hojas, lo que indica una eficacia aceptable en la protección contra la enfermedad o el estrés.

BANOLE: Con un % AFA 15,25 para este tratamiento, lo que indica que la enfermedad no ha progresado más en comparación con otros tratamientos en la lista.

TESTIGO: Con un % AFA de 79,08, este tratamiento muestra la mayor afectación en las hojas, lo que indica una falta de protección contra la enfermedad o el estrés.

Tabla 13.

Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja 2.

TRATAMIENTO	AUDPC HOJA 2
NOMAD	156,33
DINAMIC	165,67
BACTISOIL	454,42
BANOLE	203,82
TESTIGO	1195,43

Nota. La tabla proporciona información sobre los diferentes tratamientos y su efectividad en el control de una enfermedad a lo largo del tiempo, representada por el valor de la variable AUDPC (Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad) en la HOJA 2.

El Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (AUDPC), es una medida utilizada en fitopatología para cuantificar la severidad y la velocidad de progresión de una enfermedad en un determinado período de tiempo. La AUDPC se calcula trazando una curva que representa la acumulación de los síntomas de la enfermedad, por ejemplo, el número de lesiones en las plantas, en función del tiempo.

La interpretación de la AUDPC es que cuanto mayor sea su valor, mayor será la severidad de la enfermedad y/o más rápido progrese. Por lo tanto, los resultados obtenidos indican la eficacia de los tratamientos en el desarrollo de la enfermedad.

NOMAD: Este tratamiento tiene la menor afectación de AUDPC en HOJA 2, con un valor de 165.67. Esto indica que la enfermedad progresó menos en las plantas tratadas con fungicidas químicos.

DINAMIC: Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 165.67. Esto indica que la enfermedad progresó menos en las plantas tratadas con Dynamics, su composición es a base de *Trichoderma*.

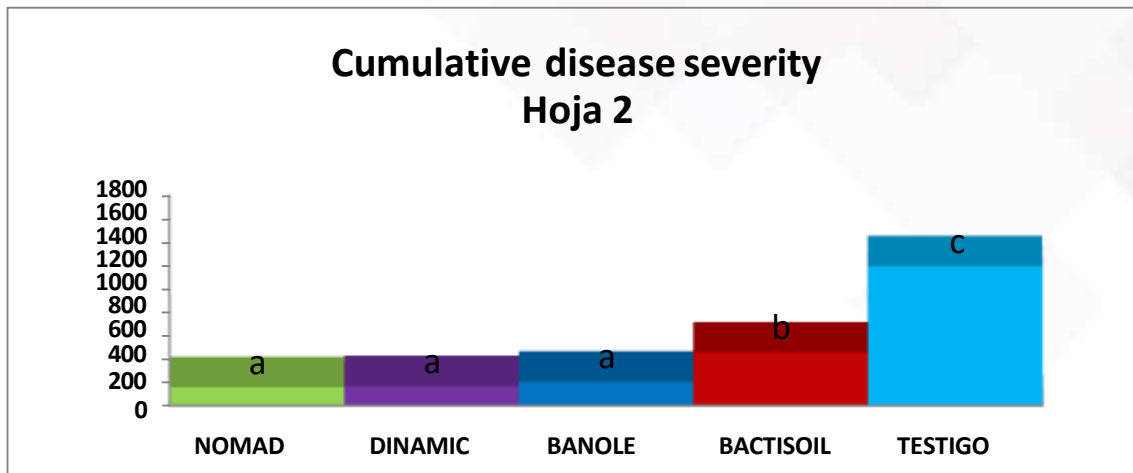
BACTISOIL: Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 454,42, lo que indica que resultó en un nivel moderado-alto de progreso de la enfermedad en comparación con otros tratamientos.

BANOLE: El valor de AUDPC para este tratamiento es de 203,82 lo que sugiere la eficacia en el progreso de la enfermedad, tomando en cuenta que es un aceite mineral y tiene mayor eficacia en comparación con Bactisoil

CONTROL: Este tratamiento tiene el valor más alto de AUDPC en la lista, con un valor de 1195,43. Esto indica que las plantas control tienen un progreso significativo de la enfermedad en comparación con todos los otros tratamientos.

Figura 15.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la hoja 2



Nota. La figura proporciona información sobre los diferentes tratamientos y sus respectivos valores de AUDPC (Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad) en la HOJA 2. También incluye una comparación de medias que utiliza letras para indicar si existe una diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

Los tratamientos NOMAD con valores de AUDPC de 165.67, DINAMIC con 165.67, Y BANOLE con un valor de AUDPC de 203.82, son estadísticamente semejantes entre ellos, ya que se les designa con la letra "A".

BACTISOIL con un valor de AUDPC 454,42 pertenece al grupo B, es estadísticamente diferente a los tratamientos del grupo A como NOMAD-DINAMICS-BANOLE, ya que tiene un progreso de enfermedad más pronunciado que el resto de los tratamientos. Y por último se encuentra el grupo C, donde el testigo absoluto acumulo el mayor progreso de la enfermedad con un valor de AUDPC 1195,43.

4.2. Interpretación de los resultados

Los resultados del estudio indican que la aplicación de *Bacillus* y *Trichoderma* como agentes de control biológico tiene un efecto significativo en la reducción de la enfermedad de Sigatoka negra en plantaciones de banano. Esto se evidencia en los valores de AUDPC (área bajo la curva de progreso de la enfermedad) obtenidos para las hojas 1 y 2. El AUDPC es un indicador que refleja la severidad de la enfermedad a lo largo del tiempo. En este caso, valores más bajos de AUDPC señalan un mejor control de la Sigatoka negra.

De acuerdo a los valores obtenidos se pudo observar que los fungicidas químicos como NOMAD(Tebuconazole+Propiconazole) su AUDPC en hoja 1 es el más bajo (90.07), indicando una efectividad notable en la reducción del progreso de la enfermedad, generalmente actúan de manera más rápida y efectiva que los agentes biológicos como *Bacillus* y *Trichoderma*. Esto se debe a que los fungicidas químicos destruyen directamente las células fúngicas o inhiben su crecimiento, mientras que los microorganismos necesitan un cierto tiempo para establecerse y ejercer su efecto de control. De acuerdo con la investigación de (Cedeño-zambrano et al., 2021), la aplicación de una mezcla de mancozeb (100 g) + tebuconazol + triadimenol (20 mL) representa una estrategia efectiva para inhibir y reducir la incidencia de la enfermedad de Sigatoka negra en plantaciones de banano. Además, los fungicidas químicos suelen tener un amplio espectro de acción, lo que significa que pueden ser efectivos contra una variedad de hongos fitopatógenos. *Bacillus* y *Trichoderma*, por otro lado, pueden ser más específicos en su actividad contra ciertos tipos de hongos.

De acuerdo a lo mencionado por (García-Munguía et al., 2022), el fungicida Tebuconazol demostró ser altamente efectivo para combatir el crecimiento de las ascosporas del hongo *Pseudocercospora fijiensis*, causante de la devastadora enfermedad de la Sigatoka negra en el banano. La mayor eficacia se alcanzó con una dosis de 3 ppm en la Unidad de Producción Piloto (UPP) 1, logrando una notable inhibición del 86.9% del tubo germinativo de las ascosporas. La combinación de

Bacillus subtilis y *Trichoderma spp.* en estrategias de control biológico de la Sigatoka negra ofrece resultados sinérgicos, es decir, un efecto mayor que la suma de sus partes individuales. Por otro lado, DINAMICS, a base de *Trichoderma spp.* fue el segundo tratamiento con el AUDPC más bajo en hoja 1 con un (97,53), indicando una efectividad notable en la reducción del progreso de la enfermedad. Según estudios realizados por (Castillo Arévalo, 2022), reveló diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados en su capacidad para controlar la enfermedad. En términos generales, se observó que la combinación de *Trichoderma sp* + *Bacillus subtilis* (30.26%) fue la más efectiva en el control de la enfermedad, seguida por el tratamiento con *Trichoderma* solo (34.45%). El tratamiento químico (36.09%) se ubicó en tercer lugar, seguido por *Bacillus subtilis* (38.93%) y el testigo (52.30%), que presentó la mayor severidad de la enfermedad.

Por otro lado, el tratamiento Bactisoil, a base de *Bacillus sp.* muestra resultados ligeramente menos efectivos con un AUDPC (147,82) en hoja 1 Sin embargo, este valor sigue siendo significativamente bajo y comparable al de DINAMICS. De acuerdo a la investigación de (Campo-Arana et al., 2020b), En un estudio experimental realizado en un cultivo de plátano, se evaluó el efecto de cepas nativas de *Trichoderma spp.* y *Bacillus sp.* aplicadas por aspersión foliar en plantas de seis meses de edad. Los resultados fueron contundentes: las plantas tratadas con *Trichoderma spp.* iniciaron el llenado del racimo en la fase de floración con 11 hojas fotosintéticamente activas, mientras que las plantas del grupo control solo presentaron nueve hojas.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La eficacia de los distintos tratamientos contra la sigatoka varía considerablemente. Si bien algunos tratamientos tuvieron un mejor rendimiento en algunas semanas, la variabilidad en los resultados a lo largo del tiempo indica que la respuesta de la enfermedad a los diferentes métodos de control está influenciada por diversos factores. Entre estos factores podrían estar el clima, la resistencia y susceptibilidad genética de las plantas del ensayo a la enfermedad, las características específicas de los tratamientos utilizados y la dinámica natural de la enfermedad en el cultivo de banano.
- Los tratamientos T1 (NOMAD), T2 (DINAMIC) y T4 (BANOLE) exhiben consistentemente las incidencias más bajas de la enfermedad, destacando su efectividad en el control de la misma e inhibiendo el desarrollo normal de *Mycosphaerella fijiensis*, en el cultivo de banano.
- *Bacillus* y *Trichoderma* son dos géneros de microorganismos que se presentan como alternativas prometedoras para el control biológico de la Sigatoka negra en el banano. Los compuestos producidos por *Bacillus subtilis*, llamados metabolitos secundarios, tienen una alta capacidad para impedir la germinación de las esporas del hongo patógeno. Por otro lado, *Trichoderma sp.*, gracias a sus diversos mecanismos de acción, actúa como un parásito eficaz de los hongos que causan enfermedades en las plantas. Ambos microorganismos pueden ser herramientas efectivas para disminuir el impacto de la Sigatoka negra en las plantaciones de banano.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones más completas que tomen en cuenta factores adicionales, como las condiciones climáticas específicas durante cada semana de evaluación, la resistencia de las cepas de la enfermedad a los tratamientos aplicados y la interacción entre los diferentes mecanismos de acción de los fungicidas químicos y biorracionales.
- Se propone realizar investigaciones adicionales para evaluar la sostenibilidad a largo plazo de los tratamientos con fungicidas biorracionales a base de *Trichoderma* y *Bacillus* en el manejo fitosanitario del banano. Estas investigaciones deben considerar diversas condiciones agrícolas y ambientales para determinar la eficacia y viabilidad de estos tratamientos en diferentes contextos.
- Se recomienda llevar a cabo estudios para evaluar la efectividad de diferentes dosis de aceite mineral (BANOLE) en el control de la Sigatoka negra. El objetivo de estos estudios es identificar la dosis óptima que maximice la inhibición de la enfermedad sin causar efectos negativos en el cultivo o el medio ambiente

Bibliografía

AFECOR. (2024). *BANOLE*.

Ahohouendo, F., Togbe, C., Africaine, S. T.-..., & 2022, undefined. (2022). Gestion de la cercosporiose noire dans les exploitations de plantain en Afrique de l'Ouest: Etat des lieux et perspectives de lutte integree incluant Trichoderma spp. *Ajol.Info*, 34(1), 143-153. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/228075>

Álvarez, E., Córdova, S., Sánchez, M., & Cusme, L. (2020). Socioeconomic evaluation of plantain production in the northern area of the Los Ríos Province. *Journal of Business and Entrepreneurial Julio-Diciembre*, 4, 86-95. <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.781.1><http://journalbusinesses.com/index.php/revistaelSSN:2576-0971>

AMORES, K., & TRELLES, K. (2022). "Implementación de un sistema para detectar la enfermedad de la Sigatoka Negra en una plantación de banano empleando técnicas de visión artificial." *Escuela De Ingeniería Electrónica*, 1-21. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11682/1/17211.pdf>

Arias, D. M., Castro, L. O., Chávez, J. V., & Castro, O. M. (2022). Determinação dos ingredientes ativos utilizados na preparação de coquetéis para o controle da Sigatoka preta (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) na banana / Determination of active ingredients used in the preparation of cocktails for the control of black S. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 2701-2720. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-010>

AVGUST, C. (2024). *Ficha Técnica NOMAD*.

Barreto Macías, A., Macías Hernández, D., Valdez Rivera, D., & Naula Hasing, J. (2019). Comportamiento evolutivo de la sigatoka negra (*Mycosphaerella Fijiensis* Morelet) sobre las características físicas de los suelos bananeros. *Revista de*

Ciencias Sociales y Humanísticas, 8(15), 136-153. <https://orcid.org/0000-0001-7500-3212><http://revistamapa.com>

Barriga-Medina, N., Sánchez-Garnica, A., & León-Reyes, A. (2022). Memorias del V Simposio en Fitopatología, Control Biológico e Interacciones Planta-Patógeno. *Archivos Académicos USFQ*, 40(1), 1-72. <https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.vi40.2724>

BASF. (2024a). FICHA TÉCNICA Cumora® Fungicida Boscalid. In *BASF MEXICANA S.A. DE C.V.*

BASF. (2024b). *FICHA TÉCNICA Opus*®.

BASF. (2024c). *FICHA TECNICA Volley*®.

BASF MEXICANA, S. A. D. C. V. (2024). *FICHA TECNICA Polyram*® DF.

Bayer. (2020). FICHA TÉCNICA Serenade. In *Bayer*.

BAYER. (2020). *FICHA TÉCNICA SONATA*®.

Bebber, D. P. (2019). Climate change effects on Black Sigatoka disease of banana. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1775). <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0269>

Benavides, L. F., Camacho-Calvo, M., & Muñoz, 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), 2-13. <https://doi.org/10.18860/rath.v3i1.6503>

Benavides López, L. F., Camacho Calvo, A. M., & Muñoz Fonseca, M. E. (2023). Modelos predictivos de la infección foliar causada por Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en plantas de banano (*Musa AAA*) con y sin

80

aplicación de fungicidas. *Revista AgroInnovación En El Trópico Húmedo*, 3(2), 1-18. <https://doi.org/10.18845/rath.v3i2.6612>

BIOMOR. (2024). *TIMOREX GOLD*.

BIOPRODUCTOS LAGUNEROS, S. A. (2024). *Ficha Técnica BACTISOIL*. <https://doi.org/10.56166/remici.2022.2.n1v1.teste>

BIOSIEMBRA NATURE´S, LAB. (2024). *FICHA TÉCNICA DINAMICS*.

Bubici, G., Kaushal, M., Prigigallo, M. I., Cabanás, C. G. L., & Mercado-Blanco, J. (2019). Biological control agents against Fusarium wilt of banana. *Frontiers in Microbiology*, 10(APR). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00616>

Burgo, B., & Gaitán, Vladimir. (2021). Comportamiento de indicadores de calidad en el cultivo del banano de la provincia El Oro, Ecuador. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(S1), 202-209. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/428>

CABI. (2021). *Myco-sphaerella fijiensis* (black Sigatoka). *CABI Compendium*. Wallingford, UK: CAB International. <https://doi.org/https://doi.org/10.1079/cabicompendium.35278>

Cabrera, J. B. Z., Guerrero, J. N. Q., & Batista, R. M. G. (2020). La producción de banano en la Provincial de El Oro y su impacto en la agrobiodiversidad. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 189-195. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/327>

Cadena, F., Ticona, C., & Mamani, E. (2021). Manejo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijensis*) del banano (*Musa acuminata*) con la aplicación de la *Trichoderma* (*Trichoderma harziarum*). *Rev. Apthapi*, 7(3), 2242-2246. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/111/102>

Campo-Arana, R. O., Vélez-Leiton, S. M., & Barrera-Violeth, J. L. (2020a). LA SIGATOKA NEGRA *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, EN LOS CULTIVOS DE PLÁTANO Y BANANO: UNA REVISIÓN. *Fitopatología Colombiana*, 44(2), 61-66.

Campo-Arana, R. O., Vélez-Leiton, S. M., & Barrera-Violeth, J. L. (2020b). LA SIGATOKA NEGRA *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, EN LOS CULTIVOS DE PLÁTANO Y BANANO: UNA REVISIÓN. *Fitopatología Colombiana*, 44(2), 61-66.

Carlier, J., Robert, S., Roussel, V., Chilin-Charles, Y., Lubin-Adjanoh, N., Gilabert, A., & Abadie, C. (2021). Central American and Caribbean population history of the *Pseudocercospora fijiensis* fungus responsible for the latest worldwide pandemics on banana. *Fungal Genetics and Biology*, 148, 103528. <https://doi.org/10.1016/J.FGB.2021.103528>

Carrasco, C., Santana, D., González, M., Villamarin, J., Vásquez, V., & Coello, A. (2024). PLAN DE MEJORA PARA EL CONTROL DE COCHINILLAS EN CULTIVO DE BANANO EN LA ZONA LOS RÍOS, ECUADOR. *CONOCIMIENTO GLOBAL*, 9(1), 1-17.

Carreño, Paula., & Portilla, Y. (2020). EL PLÁTANO Y EL BANANO ORIGEN E INFLUENCIA DESDE 1520 EN EL TERRITORIO LLAMADO COLOMBIA. *Fundación Universitaria San Mateo*, 11(1), 1-5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>

Casas, D., Hernández, B., Pachón, E., & Martínez, E. (2021). Eficacia del coadyuvante orgánico Ecotensor SYS, en el control de Sigatoka negra

(*Mycosphaerella fijiensis*) en cultivo de plátano (*Musa AAB simmonds*). *Revista Sistemas de Producción Agroecológica*, 12(1), 58-75.

Castellón-Mora, C., Reyes-Gatgens, D., Castellón-Canales, J., & Aronne-Sparisci, A. (2024). Incorporación semicomercial del fungicida botánico Pluviam 6 OL en el combate de Sigatoka negra (*Pseudocercospora fijiensis*) en Costa Rica. *Acorbat Revista de Tecnología y Ciencia*, 1(1), 32.

Castillo Arévalo, T. (2022). Estrategias biológicas para el manejo de la sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* M.) en el cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) AAB en Rivas. *Revista Colegiada de Ciencia*, 4(1), 106-115. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/334/3343527010/>

Castillo-Arévalo, T. (2022). Alternativas biológicas y químicas para el manejo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en Rivas, Nicaragua. *Ciencia e Interculturalidad*, 31(02), 153-165. <https://doi.org/10.5377/rci.v31i02.15188>

Cedeño-Aviles, J., Vera-Aviles, Daniel., Cabezas-Guerrero, Fernando. ., & Tubay-Vergara, J. (2021). Resiliencia de dos sistemas de producción de musáceas en dos zonas del trópico ecuatoriano. *Ciencias Agrarias / Agricultural Sciences UTEQ*, 14(2), 17-26. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.498>

Cedeño-zambrano, J. R., Díaz-barrios, E. J., Jesús, E. De, López, C.-, Cervantes-álava, A. R., Avellán-, L. E., Tobar-galvéz, J. P., Tatiana, S., Elizabeth, M., & Sánchez-urdaneta, A. B. (2021). Evaluación de la severidad de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en plátano “Barraganete” bajo fertilización con magnesio. *REVISTA TÉCNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Universidad Del Zulia*, 44(1), 04-58.

- Cervantes, A., Sánchez, A., Colmenares Ciolys, & Quevedo José. (2021). Sensibilidad in vitro de micelios de *Mycosphaerella fijiensis* a fungicidas comerciales en *Musa SP (AAA)*. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 6-10.
- Chávez, K., Guato, J., Rodríguez, J., Cedeño, A., Romero, R., & Canchignia, H. (2020). Rizobacterias con potencial antagonista in vitro a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet Rhizobacteria. *Agricultural Sciences*, 13(2), 9-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.387>
- 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>
- Conejo, A. M., Villalta, R., Alfaro, F., Guzmán, M., Investigaciones, D. De, Apdo, S. A., & Rica, C. (2019). Fitoprotección METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE LA SIGATOKA NEGRA (. *Corbana*, 45(65), 33-50.
- Cruz-Ortiz, L. Á., Flores-Méndez, M., Rosa, K., & Moreno-Castillo, B. (2020). bacterias antagonicas *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y promotores de crecimiento en banano (*Musa AAA*) Aislamiento de Isolation of antagonistic bacteria of *Mycosphaerella fijiensis* Morelet and growth promoters in banana (*Musa AAA*). *Ibciencias*, 3(1), 32-36.
- De Liñan, Carlos. (2024). Vademecum online. *Portal TecnoAgrícola*, 1(1). <https://www.buscador.portalteconoagricola.com/vademecum/mex/producto-tecnico/8538/PROPICONAZOL>
- Esguera, J. G., Balendres, M. A., & Paguntalan, D. P. (2024). Overview of the *Sigatoka* leaf spot complex in banana and its current management. *Tropical Plants*, 3(1), 0-0. <https://doi.org/10.48130/tp-0024-0001>

Espitia Wilches, J. J. (2020). SEGUIMIENTO DE LAS LABORES AGRONOMICAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL CULTIVO DE BANANO (Musa AAA Simmonds) EN CAREPA – ANTIOQUIA. In *UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS* (Vol. 1, Issue 1). <https://learn-quantum.com/EDU/index.html%0Ahttp://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Aht>

FAO. (2017). Manejo de pesticidas en la industria bananera. *Foro Mundial Bananero* -, 5. <http://www.fao.org/3/i6840s/i6840s.pdf>

FAO. (2023). BANANO Análisis del Mercado 2022. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*, 1-23. <http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/platano.pdf>

Galindo, M., Limón, A., López, L., Panecatí, Y., & Alvarado, J. (2024). La Sigatoka, una amenaza para el cultivo de plátano y banano en México. *Especial de Posgrados, RD-ICUAP*, 205-2017.

García Regalado, J., Marcillo Plaza, A., & Palacios Sánchez, C. (2019). Amenazas de las manchas foliares de Sigatoka (*Mycosphaerella* spp.) en la producción sostenible de banano en el Ecuador. *Revista Verde de Agroecología e Desarrollo Sustentável*, 14(5), 591-596. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i5.6623>

García-Munguía, A. M., García-Munguía, A., Acosta-Ramos, M., García-Munguía, O., Orozco-Santos, M., Ibarra-Juárez, L. A., & García-Munguía, C. A. (2022). SENSIBILIDAD in vitro DE *Pseudocercospora fijiensis* (MORELET) A LOS FUNGICIDAS SISTÉMICOS. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 117. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.117>

- García-Sánchez, H., Jaramillo Reyes, E. E., & Aguilar Herrera, S. N. (2022). Fungicides Based on Sulfur and Bacillus Sp. in Integrated Management of Black Sigatoka. *Revista Científica Agroecosistemas*.
- Gu, Z. wei, Yin, J. hang, Wu, H., Liang, Y. qiong, Wu, W. huai, Lu, Y., Li, R., Tan, S. bei, He, C. ping, & Yi, K. xian. (2023). Synergistic mechanism of Bacillus subtilis Czk1 combined with propiconazole and tebuconazole mixtures against Pyrrhoderma noxium. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(113), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00487-4>
- INEC. (2024). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPA). *Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales*, 1-16.
- Islam, M., Akter, N., Karim, M., Rahman, M., & Khatun, F. (2019). Efficacy of Different Fungicides in Controlling Sigatoka Disease of Banana. *Bangladesh Phytopathological Society*, 34(2), 59-62. <https://www.researchgate.net/publication/347676341>
- Jaramillo, A., Valencia, J., Chávez, LF., Bolaños, M., Morales, H., & Rodríguez, D. (2019). Prácticas de manejo sostenible para el cultivo de plátano. *AGROSAVIA*, 1(1), 46 páginas. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35029>
- León Ajila, J. P., Espinosa Aguilar, M. A., Carvajal Romero, H. R., & Quezada Campoverde, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7494-7507. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4981
- León, L., Arcaya, M., Barboto, N., & Bermeo, Y. (2020). Ecuador: Análisis comparativo de las exportaciones de banano orgánico y convencional e incidencia en la Balanza Comercial, 2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(2), 38-46. <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i2.521>

- León Serrano, L. A., Baquero Toledo, E. E., & Villa Benavides, J. T. (2020). Incidencia De Los Ingresos En La Producción De Banano, Cantón Santa Rosa. *Revista de Investigación Enlace Universitario*, 19(2), 51-59. <https://doi.org/10.33789/enlace.19.2.73>
- Llerena, A., & Castaño, R. (2019). INFLUENCIA DEL TIPO DE RIEGO CON AGUA OZONIFICADA EN EL CONTROL DEL NIVEL DE DAÑO DE LA SIGATOKA NEGRA EN BANANO. *ALTERNATIVAS*, 20(1), 39-46.
- M., M., J., G., F., A., C., C., M., V., W., N., J., M., & A., C. (2019). *Nociones de protección vegetal*. https://www.researchgate.net/profile/Julio-Gabriel/publication/331733437_PROTECCION_VEGETAL_isto/links/5c8a418892851c1df9407f97/PROTECCION-VEGETAL-isto.pdf
- Martínez-Solórzano, G. E., & Rey-Brina, J. C. (2021). Bananas (Musa AAA): Importance, production and trade in Covid-19 times. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 1034-1046. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I3.43610>
- Mayorga Arias, D., Olaya Castro, L., Aguirre Manzaba, E., & Ezeta Flores, H. (2022). Manejo de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) em culturas de banana , alternando protetor e fungicidas sistêmicos no inverno. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 3210-3228. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-050>
- Miranda Santos, F., Carvajal Romero, H. R., Garzón Montealegre, V., & Jorge, R. M. (2022). Análisis de la producción y exportaciones del sector bananero ecuatoriano en el periodo 2010 - 2020. *Polo Del Conocimiento*, 7(8), 650-664. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i8>
- Pacheco, L. F. Z., Aguilar, E. E. J., & Morales, J. F. B. (2022). Evaluación de fungicidas protectantes, a base de azufre y cobre, como alternativa a la familia de los Carbamatos en el manejo de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano. *Revista*

Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 5(3), 133-138.
<https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/537>

Padilla González, A. L., Flores-Villegas, A. L., Jiménez-Santiago, B., Toriello, C., Bucio-Torres, M., Salazar Schettino, P. M., Vences-Blanco, M. O., & Cabrera-Bravo, M. (2022). Chinchas besuconas contra hongos como insectos: una batalla biológica. *Desde El Herbario CICY*, 14(Figura 1), 144-148.
http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/

Paladines-Montero, A., León-Reyes, A., Ramírez-Villacis, D. X., & Zapata-Ramón, C. G. (2022). Caracterización del microbioma foliar de banano y su variación en presencia del patógeno Sigatoka Negra (*Pseudocercospora fijiensis*). *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 14(1), 1-16.
<https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2299>

Parrales, Y. R., Chica, M. G., & Moreira, C. E. (2022). Campanha de controle da *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (*Sigatoka preta*) no inverno. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 3330-3339.
<https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-058>

Ricardo, F. Á. S., & Vicente, L. F. P. (2021). Tacticas estrategicas para el manejo integrado de plagas y enfermedades en banano. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 4973-5000. <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n4-014>

Sánchez, A., Díaz, E., Conde, E., Cervantez, A., & Sánchez, D. (2021). MANEJO DE SIGATOKA NEGRA PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE PLÁTANO 'HARTÓN' EN EL SUR DEL LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 42-49. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v10n4/2218-3620-rus-10-04-75.pdf>

Sánchez, M., Sánchez, A., Cervantez, A., & Narváez, A. (2021). CONTROL DE SIGATOKA NEGRA EN BANANO CON FUNGICIDAS ORGÁNICOS EN ÉPOCA DE LLUVIA. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 108-113. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf><http://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal><http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001><http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055><https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006><https://doi.org/10.1>

Schoknecht, U., Drescher, P., Fischer, M., Fühapper, C., Gunschera, J., Hill, R., Melcher, E., Wegner, R., Wilken, U., & Wittenzellner, J. (2020). Suitability of analytical methods to determine tebuconazole, propiconazole and permethrin in aged wood samples. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(2), 271-279. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01496-y>

Seydou, T., Koffi Fernand Jean-Martial, K., Brahima, C., Somgnogdin Léonard, O., & Daouda, K. (2021). Biocontrol of *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, the Causal Agent of Black Sigatoka of Banana Tree (*Musa* spp.) Using Biopesticides in Côte d'Ivoire. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 9(4), 111-123. <https://doi.org/10.11648/j.abb.20210904.13>

Silva, T. C., Moreira, S. I., de Souza, D. M., Christiano, F. S., Gasparoto, M. C. G., Fraaije, B. A., Goldman, G. H., & Ceresini, P. C. (2024). Resistance to Site-Specific Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicides Is Pervasive in Populations of Black and Yellow Sigatoka Pathogens in Banana Plantations from Southeastern Brazil. *Agronomy*, 14(4), 1-22. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040666>

Soares, J. M. S., Rocha, A. J., Nascimento, F. S., Santos, A. S., Miller, R. N. G., Ferreira, C. F., Haddad, F., Amorim, V. B. O., & Amorim, E. P. (2021). Genetic Improvement for Resistance to Black Sigatoka in Bananas: A Systematic Review. *Frontiers in Plant Science*, 12(April), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.657916>

- Strobl, E., & Mohan, P. (2020). Climate and the global spread and impact of Bananas' Black Leaf Sigatoka disease. *Atmosphere*, 11(9), 1-19. <https://doi.org/10.3390/ATMOS11090947>
- Velez Chang, O., Avellaneda, C., & Arévalo, G. (2021). Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano, métodos de control y manejo: Revisión de literatura. In *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria*.
- Villanueva, V. A., Añazco Correa, C. D., & Bonisoli, L. (2020). Introducción de marca de banano orgánico en el mercado ecuatoriano. *INNOVA Research Journal*, 5(1), 180-197. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n1.2020.1150>
- World Bank, T. (2023). *Bananas and Blight – An Illustration In The Complexity of Global Trade*. 1-7. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2023/01/30/bananas-and-blight-an-illustration-in-the-complexity-of-global-trade.print>
- Yáñez B, W. D., Quevedo G, J. N., García B, R. M., Herrera R, S. N., & Luna R, Á. E. (2020). Determinación de la relación carga química grados Brix en hojas y frutos de banano clon Williams (*Musa x paradisiaca*). *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 421-430. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000500421
- Zumba, E. (2020). *Descripción De La Incidencia De Sigatoka Negra (Mycosphaerella fijiensis) Dentro Del Área Agrícola Del Cantón Naranjal*. https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/zppd_ZUMBA_MONTESDEOCA_ERIKA_KATIUSKA.pdf

Anexos

Recursos pertinentes utilizados en el proceso de la investigación.**ok**

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

