



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

Impacto de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka
negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano (*Musa x*
paradisiaca) en el Ecuador.

AUTOR:

Wilson Agustin Aviles Amador

TUTOR:

Ing. Agrop. Andy Ramon Ronquillo Morán, MSc.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2025

RESUMEN

En el Desarrollo de la investigación basada en los “Impacto de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*) en el Ecuador.” Donde se estableció como objetivo analizar el impacto de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra (*M. fijiensis*) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*). La metodología se determinó que el estudio se realizó en un tipo descriptivo-analítico, con un diseño investigativo cualitativo. Dentro del marco conceptual, se tomó en cuenta la importancia económica y social del banano en Ecuador, la enfermedad Sigatoka negra, la descripción del patógeno y ciclo de vida, los principales microorganismos endófitos presentes en el cultivo de banano su efectividad de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra y los mecanismos de acción de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra en el cultivo de banano. Los resultados demuestran que de variedades de microorganismos endófitos como *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp, *Trichia* spp. y *Cladosporium* spp. *susceptible*, ya que cumplen funciones fundamentales como reguladores bioquímicos, especies bacterianas y en mecanismos de acción, tales como sustancias volátiles, antibióticos y enzimas hidrolíticas (quitinasas y glucanasas). En las conclusiones la detección de microorganismos endófitos relacionados con el cultivo de banano pone de manifiesto su relevancia en la salud y el desempeño del cultivo, representan oportunidades alentadoras para el control de la sigatoka negra, cumpliendo roles fundamentales como reguladores bioquímicos y potenciadores de resistencia y muestran varios mecanismos de acción, la producción de metabolitos secundarios, tales como sustancias volátiles, antibióticos y enzimas hidrolíticas.

Palabras claves: Banano, endófitos, microorganismo, sigatoka, sustentable.

SUMMARY

In the development of the research based on the “Impact of endophytic microorganisms on the management of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) in banana cultivation (*Musa x paradisiaca*) in Ecuador,” the objective was established to analyze the impact of endophytic microorganisms on managing black Sigatoka (*M. fijiensis*) in banana cultivation (*Musa x paradisiaca*). The methodology determined that the study was conducted as a descriptive-analytical type with a qualitative research design. Within the conceptual framework, the economic and social importance of bananas in Ecuador, the black Sigatoka disease, the description of the pathogen and its life cycle, the main endophytic microorganisms present in banana cultivation, their effectiveness in managing black Sigatoka, and the mechanisms of action of endophytic microorganisms in managing black Sigatoka in banana cultivation were all taken into account. The results demonstrate that varieties of endophytic microorganisms such as *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Trichoderma* spp., and *Cladosporium* spp. are significant, as they perform fundamental functions as biochemical regulators, bacterial species, and in mechanisms of action, such as volatile substances, antibiotics, and hydrolytic enzymes (chitinases and glucanases). In the conclusions, the detection of endophytic microorganisms related to banana cultivation highlights their relevance to plant health and performance, representing encouraging opportunities for controlling black Sigatoka, fulfilling fundamental roles as biochemical regulators and resistance enhancers, and exhibiting various mechanisms of action, including the production of secondary metabolites such as volatile substances, antibiotics, and hydrolytic enzymes.

Keywords: Banana, endophytes, microorganism, migatoka, sustainable.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.	4
1.4. Objetivos.	5
1.4.1. Objetivo general.	5
1.4.2. Objetivos específicos.	5
1.5. Líneas de investigación.....	5
2. DESARROLLO.	6
2.1 Marco conceptual.	6
2.1.1. Importancia económica y social del banano en Ecuador.....	6
2.1.2. Principales zonas de producción	6
2.1.3. Condiciones agroecológicas para el cultivo de banano.	7
2.1.5. Sigatoka negra (<i>Mycosphaerella fijiensis</i>).....	8
2.1.5.1. Descripción del patógeno y ciclo de vida.....	8
2.1.5.2. Métodos de diagnóstico y monitoreo de la enfermedad.	8
2.1.5.3. Impacto de la sigatoka negra en la productividad del banano.	9
2.1.6. Métodos convencionales del manejo de la sigatoka negra.	10
2.1.6.1. Fungicidas químicos.	10
2.1.6.2. Resistencia del patógeno a fungicidas.....	10
2.1.6.3. Estrategias integradas de manejo (MIP).....	11
2.1.7. Microorganismos endófitos.....	11
2.1.7.1. Clasificación de los microorganismos endófitos.....	11
2.1.7.2. Mecanismos de acción en plantas.....	12
2.1.8. Principales microorganismos endófitos presentes en el cultivo de banano.....	14
2.1.8.1. Bacterias endófitas.	14
2.1.8.2. Hongos endófitos.	15
2.1.8.3. Actinobacterias.....	15
2.1.8.4. Micorrizas arbusculares.....	15
2.1.8.5. Otros microorganismos endófitos	15
2.1.9. Efectividad de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra.....	16
2.1.9. Factores que afectan la efectividad y establecimiento de los endófitos en el campo.....	17

2.1.10. Mecanismos de acción de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra en el cultivo de banano.	18
2.2. Marco metodológico.	20
2.3. Resultados.	21
2.4 Discusión de resultados.	23
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
3.1. Conclusiones-	25
3.2. Recomendaciones	26
4.REFERENCIAS Y ANEXOS.	27
4.1. Referencias bibliográficas.....	27
4.2. Anexos.....	32

1.CONTEXTUALIZACIÓN.

1.1. Introducción.

La producción de banano es uno de los cultivos más relevantes a nivel global, constituyendo una fuente esencial de ingresos y nutrición en numerosos países de zonas tropicales y subtropicales. India, China, Indonesia y Filipinas son los principales productores a nivel mundial, liderando la producción a nivel mundial; este fruto es crucial no solo por su importancia nutritiva, sino también por su función en la economía, en particular en las exportaciones, no obstante, el cultivo se topa con retos considerables, tales como la propensión a enfermedades, el cambio climático y las variaciones en los precios del mercado (Santos et al., 2022).

La producción de banano en Ecuador es un pilar fundamental de su economía, siendo el mayor exportador de este fruto a nivel mundial, el país se beneficia de su clima tropical y suelos fértiles, que permiten el cultivo de bananos de alta calidad; las principales regiones productoras incluyen Los Ríos, Guayas y El Oro, este cultivo genera miles de empleos y representa una fuente significativa de ingresos para miles de familias; debido que representa el país un 25% de la producción global y consolidándose como el principal cultivo de exportación (Cabrera et al., 2020).

Las infecciones por hongos en este caso por la sigatoka negra, representan una de las mayores amenazas para la producción de banano a escala nacional, impactando tanto en la producción como en la calidad del fruto; entre las más frecuentes se hallan la sigatoka negra, que puede arrasarse con plantaciones completas, y que van hasta manchas en las hojas y frutos, disminuyendo su valor en el mercado; estas afecciones se diseminan con rapidez en situaciones de elevada humedad y altas temperaturas, lo que complica su manejo (Miller y Valencia, 2020).

Los microorganismos endófilos son los que residen naturalmente en el interior de las plantas sin provocar perjuicio perceptible, estableciendo una relación simbiótica con sus habitantes, estos microorganismos comprenden bacterias, hongos y actinobacterias, y están presentes en variados tejidos de las plantas, tales como hojas, tallos y raíces; aunque están presentes en el interior de las plantas, frecuentemente favorecen su salud y crecimiento, fomentando la resistencia a

enfermedades, optimizando la absorción de nutrientes y contribuyendo a su adaptación a condiciones ambientales desfavorables (Córdova, 2022).

Particularmente en naciones tropicales y subtropicales donde aporta significativas ventajas económicas y nutricionales, son las que sobresalen en la producción de banano donde Ecuador, uno de los líderes global en exportaciones de este cultivo, utiliza su clima propicio y terrenos fértiles para cultivar frutos de excelente calidad, lo que constituye un respaldo económico vital para miles de familias, no obstante, el cultivo se topa con retos considerables, en este escenario, los microorganismos endófitos, que residen en las plantas sin provocar perjuicios, surgen como aliados al potenciar la resistencia a enfermedades y promover la absorción de nutrientes.

1.2. Planteamiento del problema.

El cultivo de banano se enfrenta a amenazas cada vez mayores de enfermedades fúngicas como como la *Mycosphaerella fijiensis*, las cuales impactan de manera severa tanto en la producción como en la calidad del fruto, no obstante, la gestión de estas afecciones usualmente se basa en la aplicación de pesticidas y fungicidas químicos, lo que provoca impactos perjudiciales en el medio ambiente y la salud de las personas; el reto reside en la limitada investigación existente acerca del potencial de los microorganismos endófitos como una opción natural y sustentable para luchar contra estas patologías.

El uso intensivo y constante de fungicidas está incrementando la resistencia a los tratamientos tradicionales contra las enfermedades fúngicas en banano, lo que promueve la adaptación de los patógenos, esta resistencia no solo repercute en la eficacia de los tratamientos, sino que también amenaza la viabilidad de los cultivos a largo plazo; dentro de este marco, los microorganismos endófitos podrían desempeñar un rol vital en el robustecimiento del sistema inmunológico de la planta y en la prevención de infecciones por hongos.

Pese a que los microorganismos endófitos poseen un considerable potencial como reguladores de los hongos, la falta de entendimiento de sus mecanismos de acción, la variabilidad de sus efectos dependiendo del entorno y la interacción con otras especies de microorganismos restringen su aplicación en el terreno; además, identificar y aislar eficazmente estos microorganismos endófilos aún representa un reto técnico, lo que demora el avance de aplicaciones útiles en el sector agrícola, la ausencia de protocolos normalizados para su utilización provoca dudas acerca de su eficacia y factibilidad a nivel comercial, lo que obstaculiza su implementación en la producción de bananas.

1.3. Justificación.

Es fundamental investigar el potencial de los microorganismos endófitos como una opción natural y sustentable para el control de enfermedades fúngicas en el cultivo de banano, debido a las repercusiones negativas que los pesticidas y fungicidas químicos causan en el entorno y la salud de las personas; este estudio tiene como objetivo ofrecer una alternativa más segura y respetuosa con el medio ambiente, que no solo reduzca la polución ambiental, sino que también brinde un método de control de enfermedades más efectivo a largo plazo, disminuyendo la necesidad de sustancias químicas y potenciando la sostenibilidad de la producción de bananas.

El incremento de la resistencia a los fungicidas convencionales representa una amenaza cada vez mayor para la producción de banano, lo que intensifica la necesidad de buscar opciones efectivas, los microorganismos endófitos pueden tener un rol esencial en la prevención de infecciones por hongos, fortaleciendo el sistema inmunológico vegetal y restringiendo la multiplicación de agentes patógenos; este análisis es imprescindible para reconocer y valorar el verdadero efecto de estos microorganismos en la gestión de enfermedades como *Mycosphaerella fijiensis*, lo que facilitaría una estrategia de gestión integrada de plagas más sustentable y efectiva.

La falta de conocimiento acerca de los mecanismos de acción de los microorganismos endófitos, así como los obstáculos para su aislamiento y uso práctico, son retos que deben ser vencidos para explotar su potencial en el sector agrícola, este análisis es crucial para cubrir estas lagunas de saber y definir protocolos precisos para su implementación, al realizar esto, se podrá mejorar la utilización de microorganismos endófitos en el cultivo de banano, garantizando su eficacia, factibilidad comercial y adopción a gran escala, lo que favorecería tanto a los productores como al entorno natural.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

- Analizar el impacto de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*).

1.4.2. Objetivos específicos.

- Identificar los principales microorganismos endófitos presentes en el cultivo de banano.
- Establecer la efectividad de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra.
- Definir los mecanismos de acción de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra en el cultivo de banano.

1.5. Líneas de investigación.

En la elaboración del presente documento se recopiló información actualizada como lo son artículos científicos, sitios web y bibliotecas virtuales que aporten opiniones e ideas de autores que permitirán estudiar el proceso de la presente investigación. Se especificó la temática relevante sobre el impacto de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*). El presente trabajo se desarrollará como una investigación no experimental de carácter bibliográfico, mediante el uso de síntesis, análisis, y resumen de la información que se recopilará.

2. DESARROLLO.

2.1 Marco conceptual.

2.1.1. Importancia económica y social del banano en Ecuador.

El Banano es uno de los pilares fundamentales de la economía de Ecuador, constituyendo una fuente esencial de ingresos provenientes de las exportaciones agrícolas. Ecuador se destaca a nivel global en la exportación de bananas, teniendo una cuota considerable en el mercado global que excede el 25%; este cultivo produce miles de millones de dólares al año, estableciéndose como uno de los bienes de la agricultura más exportados, junto con el camarón y el cacao, adicionalmente, la producción de bananas cubre extensas zonas en provincias como Guayas, Los Ríos y El Oro, fomentando el crecimiento de infraestructura y servicios en estas zonas (Murillo et al., 2021).

El sector bananero emplea a cientos de miles de individuos tanto de forma directa como indirecta, transformándose en una fuente esencial de trabajo para las comunidades rurales, esta actividad asegura la estabilidad financiera de numerosas familias, que dependen de las diferentes fases de producción, desde la cosecha hasta la venta; además, el plátano forma parte de la seguridad alimentaria nacional, siendo un alimento esencial en la alimentación cotidiana de los habitantes de Ecuador, el valor social del plátano también se manifiesta en su habilidad para disminuir las disparidades en el campo, fomentando la inclusión laboral y brindando oportunidades en áreas con escasas opciones económicas (león et al., 2020).

2.1.2. Principales zonas de producción.

Ecuador dispone de condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de banano, concentrándose las áreas productoras principales en las provincias costeras, en particular Guayas, Los Ríos y El Oro, estas provincias brindan terrenos fértiles, un clima cálido y húmedo, y una gran cantidad de recursos de agua, elementos óptimos para la agricultura; Guayas se distingue por sus extensos cultivos y su proximidad a los puertos, lo que simplifica el traslado y exportación del producto, por otro lado, Los Ríos se distingue como una de las áreas con un mayor rendimiento por hectárea debido a la aplicación de métodos sofisticados de gestión agrícola (Jiménez et al., 2020).

El Oro, ubicado al sur de la zona costera, se distingue por la excelencia de su producción y su enfoque en variedades de exportación, como el banano Cavendish, asimismo, provincias como Manabí y Esmeraldas aportan considerablemente a la producción, aunque a una escala más reducida, asignando una gran cantidad de su producción al mercado interno; en estas áreas, los sistemas de riego y las estrategias de control de plagas han logrado mantener niveles de producción constantes, a pesar de los retos climáticos y fitosanitarios (ESPAC, 2023).

Las regiones bananeras no solo encabezan la producción a nivel nacional, sino que también impulsan la economía local, creando puestos de trabajo en comunidades rurales y atrayendo inversiones para optimizar la infraestructura de agricultura, la industria bananera promueve la creación de rutas de acceso, redes de transporte y servicios relacionados, fortaleciendo a estas zonas como cimientos de la economía de Ecuador; adicionalmente, estas zonas son clave para el comercio internacional, ya que su proximidad a los puertos de Guayaquil y Puerto Bolívar disminuye los gastos de logística y garantiza la competitividad en el mercado global (Gutiérrez y Cevallos, 2021).

2.1.3. Condiciones agroecológicas para el cultivo de banano.

El banano florece en ambientes tropicales y subtropicales, con temperaturas que varían de los 25 °C a los 30 °C a lo largo de todo el año, la elevada humedad, que supera el 80%, y las precipitaciones anuales que oscilan entre 1,800 y 2,500 mm, son perfectas para su crecimiento, estas circunstancias promueven el desarrollo constante de la planta, su ciclo productivo y la excelencia de los frutos, Ecuador, situado en la línea ecuatorial, goza de un clima estable y predecible en las áreas costeras, garantizando así una producción continua de bananas a lo largo del año, reforzando su lugar como líder global en exportación (Rey et al., 2020).

La producción de este fruto necesita terrenos profundos, adecuadamente drenados y abundantes en materia orgánica, con un pH que oscile entre un leve ácido y un neutro (entre 5.5 y 7), las zonas bananeras de Ecuador, como Guayas y Los Ríos, cuentan con terrenos aluviales que satisfacen estas propiedades, facilitando un crecimiento ideal del sistema de raíces; adicionalmente, el riego es vital en los periodos de menor lluvia, asegurando la disponibilidad constante de agua, la fusión de estos elementos agroecológicos con técnicas de agricultura

sustentable garantiza una producción eficaz y de excelente calidad, ajustada a las demandas del mercado mundial (Galecio et al., 2020)

2.1.5. Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*).

2.1.5.1. Descripción del patógeno y ciclo de vida.

La sigatoka negra es provocada por el hongo ascomiceto *Mycosphaerella fijiensis*, reconocido como una de las enfermedades bananeras más devastadoras a escala global, este patógeno incide en las hojas, disminuyendo considerablemente su habilidad para fotosintetizar y, por ende, la productividad del cultivo, las esporas del hongo (ascosporas y conidios) se propagan principalmente por medio del viento y la lluvia, lo que favorece su difusión en entornos cálidos y húmedos, los síntomas iniciales comprenden minúsculas marcas amarillas en las hojas que se transforman en lesiones necróticas de color negro, reduciendo la capacidad de la planta para funcionar (Regalado et al., 2019).

La vida del hongo, incluye etapas tanto sexuales como asexuales, en la etapa asexual, el hongo genera conidios que infectan hojas próximas, en cambio, durante la etapa sexual, produce ascosporas que se propagan a grandes distancias, la infección se inicia cuando las esporas se desarrollan en la superficie de las hojas, creando un tubo germinativo que se infiltra en el tejido de la planta; una vez en el interior, el microorganismo forma estructuras infecciosas que descomponen las células foliares, provocando los síntomas perceptibles, este ciclo se finaliza en entre 15 y 25 días, en función de las condiciones meteorológicas, lo que promueve la rápida propagación de infecciones en cultivos sin control (León et al., 2020).

2.1.5.2. Métodos de diagnóstico y monitoreo de la enfermedad.

La detección de la sigatoka negra se fundamenta en la detección visual de síntomas y en la realización de exámenes de laboratorio, en el campo, los productores agrícolas inspeccionan las hojas en busca de primeras marcas amarillas que se transforman en lesiones negruzcas, características de la enfermedad; para una identificación más exacta, se emplean métodos moleculares como la PCR (reacción en cadena de polimerasa), que identifica la existencia de ADN de *Mycosphaerella fijiensis* en las muestras de flores, estas herramientas posibilitan la confirmación de la enfermedad en fases iniciales, incluso antes de que los síntomas se manifiesten, lo que favorece una reacción más eficaz (FAO, 2021).

Es esencial el seguimiento continuo para gestionar de manera eficiente la sigatoka negra. Se utilizan técnicas como el Índice de Sigatoka (IS), que determina la cantidad de hojas infectadas en una planta para determinar la gravedad del ataque, también se utilizan trampas para recolectar esporas aéreas, lo que ayuda a estimar la presión del inóculo en la plantación; adicionalmente, herramientas tecnológicas como drones y sensores remotos permiten detectar cambios en la salud foliar a gran escala, optimizando los esfuerzos de monitoreo y reduciendo costos operativos, estos enfoques integrados garantizan una vigilancia efectiva y oportuna de la enfermedad (Seipasa, 2024).

2.1.5.3. Impacto de la sigatoka negra en la productividad del banano.

La sigatoka negra, es una de las afecciones más dañinas del banano, con la capacidad de disminuir hasta un 50% la productividad del cultivo, este hongo incide en las hojas, reduciendo su habilidad para fotosintetizar y disminuyendo considerablemente la generación de energía requerida para el crecimiento de los frutos, en situaciones graves, las plantas pierden sus hojas operativas, lo que conduce a frutos de tamaño reducido, calidad baja y una maduración inconsistente, esto tiene un efecto directo en la cantidad y calidad del plátano a exportar, impactando la competitividad del producto en el mercado mundial (Regalado et al., 2019).

La utilización de la sigatoka negra eleva significativamente los gastos de producción; para controlar la enfermedad, es necesario que los agricultores utilicen fungicidas de manera regular, frecuentemente hasta 50 veces al año en regiones tropicales, no solo incrementa los costos en materiales y trabajadores, sino que también provoca problemas de resistencia del patógeno a los compuestos químicos, lo que exige la búsqueda de productos más caros o mezclas complejas; además, los agricultores experimentan pérdidas financieras a causa de la disminución de la duración de las plantaciones impactadas, lo que demanda renovaciones más regulares de los cultivos (Barrera et al., 2016).

Aparte de disminuir la productividad, la sigatoka negra impacta en la estabilidad financiera de los agricultores, en particular en pequeñas y medianas propiedades, dentro del país hubo daños considerables como lo indica la tabla 1, además, los usos intensivos de fungicidas también conllevan un considerable costo ambiental,

ya que contaminan los terrenos y cuerpos de agua próximos; esto representa un reto para la sostenibilidad de la producción de bananas, fomentando la necesidad de implementar técnicas de gestión integradas que resulten más eficaces y amigables con el entorno (Rey et al., 2020).

2.1.6. Métodos convencionales del manejo de la sigatoka negra.

La gestión de la sigatoka negra en plantaciones de banano se fundamenta en tres tácticas clave: la aplicación de fungicidas químicos, la valoración y tratamiento de la resistencia del patógeno a dichos productos, y la aplicación de estrategias de manejo integradas (MIP); estas estrategias tienen como objetivo reducir el efecto de la enfermedad en la productividad, preservando simultáneamente la viabilidad económica y ambiental de los cultivos (Vélez, 2021).

2.1.6.1. Fungicidas químicos.

La aplicación de fungicidas químicos es uno de los procedimientos más convencionales para el control de la sigatoka negra. Se utilizan sustancias químicas como el Propiconazol (Folicur) y el Tebuconazole (Folicur 250 EC), que funcionan bloqueando la producción de ergosterol en las células del hongo, obstaculizando así su desarrollo y reproducción, estos fungicidas se utilizan a través de la pulverización de las plantas en momentos determinados durante el ciclo de cultivo (Pacheco et al., 2022).

El Azoxistrobin (Quadris) es otro fungicida frecuente que forma parte del conjunto de estrobilurinas y tiene un efecto sobre la respiración celular del hongo, aunque los fungicidas químicos proporcionan un control instantáneo y eficaz, su empleo constante puede causar efectos perjudiciales en el medio ambiente y la salud de las personas, además de que promueve la elección de cepas que resisten el hongo (Valverde, 2019).

2.1.6.2. Resistencia del patógeno a fungicidas.

Pese a la eficacia inicial de los fungicidas químicos, la utilización reiterada de estos productos ha propiciado la creación de cepas resistentes de *Mycosphaerella fijiensis*, la principal causa de la resistencia del patógeno a los fungicidas es la presión de selección producida por la utilización continua de los mismos compuestos; esto disminuye la efectividad de los fungicidas y fuerza a los productores a incrementar las cantidades o a modificar otros productos, lo que

eleva los gastos y puede agravar la situación a largo plazo. Adicionalmente, la resistencia puede provocar brotes más violentos de la enfermedad (Castillo, 2022).

2.1.6.3. Estrategias integradas de manejo (MIP).

Las estrategias integradas de manejo, fusionan diversos métodos de control, no únicamente químicos, con el objetivo de disminuir la necesidad de fungicidas y reducir los efectos en el medio ambiente, estas tácticas comprenden la elección de variedades de plátano resistentes, el uso de tratamientos biológicos y la gestión cultural, como la poda de hojas contagiadas y la optimización de la circulación del aire en las plantaciones; el MIP también fomenta el seguimiento continuo de la enfermedad, con el objetivo de establecer el momento ideal para aplicar fungicidas, lo que disminuye la cantidad de tratamientos requeridos (Vélez, 2021).

2.1.7. Microorganismos endófitos.

Se refiere a los microorganismos como lo indica la figura 3, sobre todo bacterias y hongos, que habitan en los tejidos de las plantas sin provocar perjuicios perceptibles ni causar efectos patológicos, estos microorganismos están presentes en varias áreas de la planta, tales como hojas, tallos y raíces, y tienen la capacidad de establecer una relación simbiótica con la planta, fomentando su desarrollo y resguardándola de agentes patógenos y estrés ambiental; a pesar de que algunos endófitos pueden ser potencialmente patógenos bajo determinadas circunstancias, la mayoría interactúa de forma positiva con la planta, potenciando su resistencia a enfermedades, incrementando su tolerancia a condiciones desfavorables (Namensy, 2023).

2.1.7.1. Clasificación de los microorganismos endófitos.

La categorización de los microorganismos endófitos puede llevarse a cabo de diversas formas, en función de varios elementos, tales como su naturaleza, la interacción con la planta huésped y el tipo de interacción que generan, las categorías más habituales comprenden a:

Clasificación según su origen.

Son bacterias que habitan en las plantas y pueden ser parte de varios grupos como *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter* y *Rhizobium*; frecuentemente, estas bacterias desempeñan un papel en el fomento del crecimiento de la planta, la

fijación de nitrógeno o la defensa contra agentes patógenos; hongos endófitos, son los microorganismos que también habitan en las plantas, incluyen especies frecuentes como *Ascomycota*, *Basidiomycota* y *Zygomycota*; estos hongos tienen la capacidad de asistir a la planta en la resistencia a enfermedades o en la tolerancia de situaciones de estrés, además de producir sustancias antimicrobianas (Rodríguez et al., 2021).

Clasificación según la relación con la planta huésped.

Endófitos mutualistas: Establecen una relación simbiótica con la planta, beneficiándose mutuamente, los microorganismos endófitos mutualistas ayudan a la planta en su crecimiento, la protección contra patógenos y el manejo del estrés abiótico (como sequía, salinidad); Endófitos comensales: En este caso el microorganismo vive en la planta sin causar daño ni proporcionar un beneficio, pero tampoco perjudica a la planta; endófitos patógenos: aunque generalmente no causa daños evidentes en condiciones normales, algunos microorganismos endófitos pueden convertirse en patógeno si las condiciones de la planta cambian, como en situaciones de estrés o heridas (Torrico et al., 2024)

Clasificación según la permanencia.

Endófitos transitorios: Son microorganismos que pasan un tiempo limitado dentro de la planta, en su mayoría como parte de una interacción temporal, pueden ser incorporados a la planta desde el ambiente externo, pero no permanecen de manera continua; Endófitos permanentes: son aquellos que viven de manera continua dentro de las plantas a lo largo de su ciclo de vida, su presencia es contante y estable, y pueden estar adaptados a condiciones específicas a la planta huésped (García 2020).

2.1.7.2. Mecanismos de acción en plantas.

Los microorganismos endófitos interactúan con las plantas mediante varios mecanismos de acción que favorecen a la planta, impulsando su desarrollo, regulando patógenos y potenciando su resistencia a distintos tipos de estrés:

Potenciador del crecimiento vegetal.

Algunas bacterias endófitas, como las pertenecientes al género *Rhizobium*, tienen la habilidad de capturar nitrógeno atmosférico y transformarlo en una forma que la planta pueda usar, optimizando la disponibilidad de este nutriente vital, los microorganismos endófitos tienen la capacidad de producir hormonas vegetales como las auxinas, giberelinas y citoquininas, que promueven el desarrollo de las raíces, el alargamiento de los tallos y la división celular, lo que promueve; además, tienen la capacidad de producir hormonas vegetales como las auxinas, las giberelinas y las citoquininas, las cuales promueven el desarrollo de las raíces, la extensión de los tallos y la división celular (Murillo et al., 2021).

Control de patógenos.

Numerosos hongos y bacterias endófitas generan antibióticos, ácidos orgánicos o proteínas antimicrobianas, que frenan la proliferación de agentes patógenos de origen fungal, bacteriano o viral, por ejemplo, los géneros *Trichoderma* y *Bacillus* se distinguen por su habilidad para generar sustancias antifúngicas que resguardan a la planta frente a hongos dañinos; tienen la capacidad de rivalizar con los patógenos por el espacio y los recursos disponibles dentro de la planta, al ocupar los mismos nichos ecológicos, restringen el ingreso de los patógenos a los tejidos de la planta y disminuyen su habilidad para proliferar (Galindo y Mosquera 2023).

También inducen respuestas de defensas en la planta, como la síntesis de compuestos fenólicos o proteínas de defensas, estos compuestos actúan como barreras naturales frente a infecciones.

Resistencias inducidas a estrés bióticos y abióticos.

Los endófitos tienen la capacidad de activar los mecanismos de protección de la planta, tales como la acumulación de lignina o la generación de fitoalexinas, que son compuestos antibióticos naturales generados por la planta en reacción a infecciones, esta reacción puede incrementar la resistencia de la planta ante futuras infecciones por agentes patógenos; pueden potenciar la resistencia de las plantas frente a situaciones de estrés ambiental, tales como sequía, salinidad o temperaturas elevadas, por ejemplo, ciertos endófitos tienen el potencial de

incrementar la habilidad de la planta para controlar su equilibrio hídrico o potenciar su habilidad para adaptarse a terrenos salinos (Pascholati et al., 2019).

Los microorganismos endófitos tienen la capacidad de alterar la generación y comunicación de hormonas vegetales como el ácido abscísico (ABA) y las citoquininas, permitiendo a las plantas gestionar de manera más efectiva los factores de estrés; el ABA desempeña un rol importante en la reacción de la planta ante el estrés hídrico, en general, estos mecanismos de actuación favorecen el mejor desempeño y bienestar de las plantas, proporcionando opciones sustentables ante los retos agrícolas, disminuyendo la demanda de productos químicos y fomentando un enfoque más ecológico y balanceado en la agricultura (Delgado et al., 2020).

2.1.8. Principales microorganismos endófitos presentes en el cultivo de banano.

En la producción de banano, los microorganismos endófitos son representativos en la salud de las plantas, contribuyendo a impulsar su desarrollo, a resguardarlas de agentes patógenos y a potenciar su resistencia al estrés ambiental, los microorganismos endófitos más destacados en este cultivo comprenden (Galindo y Mosquera 2023).

2.1.8.1. Bacterias endófitas.

Bacterias spp.: Este tipo de bacterias es muy famoso por su habilidad para generar compuestos antimicrobianos que contribuyen a salvaguardar la planta de agentes patógenos, además, pueden fomentar el desarrollo de las plantas a través de la solubilización de nutrientes como el fósforo; *Pseudomonas spp.*: las bacterias pertenecientes al género *Pseudomonas* desempeñan un papel importante en el fomento del crecimiento y la defensa contra agentes patógenos, algunas variedades de *Pseudomonas* poseen la habilidad de generar sideróforos, los cuales asisten a las plantas en la obtención de hierro de forma más eficaz y resguardan contra agentes patógenos competidores Bardoza et al., (2023).

2.1.8.2. Hongos endófitos.

Trichia spp.: este hongo endófito es famoso por su habilidad para detener el desarrollo de patógenos, en particular hongos fitopatógenos como *Fusarium* y *Rhizoctonia*, adicionalmente, *Trichoderma* tiene la capacidad de fomentar la resistencia de las plantas frente a varias enfermedades y potenciar su vitalidad; *Cladosporium* spp.: este hongo habita en las hojas y tallos del plátano, y ha demostrado poseer características antifúngicas, aportando a la defensa contra agentes patógenos de la vegetación; *Fusarium* spp.: a pesar de que ciertas especies de *Fusarium* pueden ser dañinas en algunos cultivos, existen cepas que funcionan como endófitas y resguardan a la planta frente a otras especies de hongos perjudiciales Morel et al., (2021).

2.1.8.3. Actinobacterias.

Streptomyces spp.: Estas bacterias actinobacterianas se distinguen por su capacidad para generar una extensa variedad de antibióticos naturales, en la producción de bananos, ciertas especies de *Streptomyces* tienen la capacidad de funcionar como defensas biológicas contra agentes patógenos del suelo como *Fusarium* Kaari et al., (2023).

2.1.8.4. Micorrizas arbusculares.

Glomus spp.: Las micorrizas, al igual que las especies pertenecientes al género *Glomus*, son hongos que establecen vínculos simbióticos con las raíces de las plantas, optimizando la asimilación de nutrientes vitales como el fósforo, nitrógeno y agua, para el banano, estas micorrizas favorecen el crecimiento sano del sistema radicular y la adaptabilidad a situaciones de estrés Chávez et al., (2023).

2.1.8.5. Otros microorganismos endófitos.

Aspergillus spp.: a pesar de que ciertas especies de *Aspergillus* pueden ser patógenas, existen cepas endófitas que no provocan perjuicio directo y pueden contribuir a la resistencia de la planta a través de la generación de compuestos bioactivos; *Penicillium* spp.: similar a *Aspergillus*, ciertas especies de *Penicillium* poseen efectos positivos como endófitos al producir metabolitos secundarios que resguardan a la planta frente a agentes patógenos Morel et al., (2021).

Además, se cómo lo indica la tabla 2, donde se menciona los principales microorganismos endófitos, su clasificación los beneficio que aportan a la planta, y como actúan contra la enfermedad de la sigatoka negra (Bardoza et al., 2023).

2.1.9. Efectividad de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra.

Se ha evidenciado en múltiples investigaciones la eficacia de los microorganismos endófitos en la gestión de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), demostrando que pueden proporcionar soluciones más sustentables y ecológicas en contraposición al control químico, los hongos y bacterias endófitos resultan especialmente efectivos en frenar la difusión de este patógeno, a través de diversos procesos que oscilan entre la generación de compuestos antimicrobianos y la generación de resistencia en las plantas (Salvatierra, 2023).

Trichoderma spp., un hongo endófilo, ha demostrado su gran eficacia en el combate a la sigatoka negra, *Trichoderma* genera metabolitos que funcionan como compuestos antifúngicos, restringiendo de manera directa el desarrollo de *M. fijiensis*; además, este hongo fomenta la protección de la planta al provocar respuestas de defensa que incrementan la resistencia global del plátano ante distintas enfermedades, su función de biocontrol ha resaltado en investigaciones que disminuyen la gravedad de la enfermedad, proporcionando una opción natural frente al empleo de fungicidas químicos (INIAP, 2021).

En cambio, bacterias endófilas como *Bacillus* y *Pseudomonas* también han probado ser beneficiosas para el control de la sigatoka negra, estas bacterias no solo generan antibióticos orgánicos que se dirigen directamente al patógeno, sino que también promueven la activación del sistema inmunológico de la planta; al infiltrarse en los tejidos internos de la planta, funcionan como un obstáculo biológico, impidiendo la formación y propagación del hongo dañino, específicamente, *Pseudomonas* es reconocida por generar sideróforos, los cuales secuestran el hierro existente, lo que obstaculiza el desarrollo de patógenos (FAO, 2021).

Al actuar de forma sinérgica, estos microorganismos endófilos no solo regulan la sigatoka negra, sino que también potencian la salud global de la planta, la aplicación de estos agentes biológicos puede resultar una táctica eficaz en un enfoque de manejo integrado de plagas (MIP), disminuyendo la demanda de fungicidas y fomentando una agricultura más sustentable y menos sujeta a productos químicos (Valdez, 2024).

2.1.9. Factores que afectan la efectividad y establecimiento de los endófitos en el campo.

La eficaz inoculación de microorganismos endófitos en el terreno se topa con retos vinculados con las condiciones del entorno, elementos como la temperatura, la humedad y la composición del terreno tienen un impacto considerable en la viabilidad y presencia de los endófilos; por ejemplo, un entorno adverso podría restringir la habilidad del microorganismo para alojarse en el tejido de la planta o competir con otros microorganismos autóctonos los cambios climáticos característicos de las regiones tropicales, como fuertes lluvias o sequías, pueden afectar de manera adversa la supervivencia de los endófitos tras su aplicación (león et al., 2020).

Un impedimento notorio es la compatibilidad entre los microorganismos endófitos y las variedades particulares del cultivo, no todas las variedades de plátano son tan efectivas como todas las cepas, dado que la interacción entre la planta y los microorganismos se basa en factores genéticos; esto complica la extensión de los tratamientos y demanda exámenes concretos para determinar las combinaciones más eficaces, además, es vital asegurar que los endófitos introducidos no tengan un impacto negativo en la microbiota natural de la planta, dado que esto podría provocar desbalances microbianos que perjudiquen el crecimiento y la productividad del cultivo (Cabrera et al., 2020).

Finalmente, el método de inoculación supone un desafío tanto técnico como logístico, es necesario evaluar técnicas como la inmersión de las plántulas, la pulverización de las hojas o su uso en el suelo en función de su eficacia, costo y practicidad para los agricultores; en ciertas situaciones, los endófitos utilizados pueden no llegar o infiltrarse en los tejidos meta debido a obstáculos físicos o químicos en la planta, la fabricación en masa de inoculantes con la viabilidad y

estabilidad necesarias, junto con su traslado y almacenaje en condiciones ideales, son retos que restringen su implementación en sistemas de agricultura comercial (Santos et al., 2022).

2.1.10. Mecanismos de acción de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra en el cultivo de banano.

Según estudios realizados indican que los mecanismos más destacados de los hongos endófitos, como *Trichoderma* spp., es su capacidad para producir metabolitos antimicrobianos, tales como enzimas hidrolíticas (como quitinasas y celulasas) que atacan la pared celular del hongo patógeno *Mycosphaerella fijiensis*; estos metabolitos dificultan la germinación y el crecimiento de las esporas del patógeno, inhibiendo su capacidad para infectar los tejidos de la planta (Noar et al., 2022).

También investigaciones realizadas indica que adicionalmente, *Trichoderma* establece un vínculo simbiótico con la planta, optimizando la asimilación de nutrientes y potenciando la resistencia de la planta a situaciones de estrés, como la sequía, así, el hongo no solo funciona como un biocontrol del patógeno, sino que también provoca una reacción de defensa en la planta, activando sus sistemas de defensa natural, lo que la convierte en más resistente a infecciones futuras (Paladines et al., 2022).

Los microorganismos endófilos como *Bacillus* spp. durante *Pseudomonas* spp. Importantes, en la regulación biológica de la sigatoka negra, estas bacterias generan antibióticos naturales con características fungicidas y bactericidas, que impiden directamente el desarrollo de sigatoka negra; adicionalmente, bacterias como *Pseudomonas* se distinguen por la generación de sideróforos, que son sustancias que extraen el hierro existente en el entorno, el hierro es un elemento vital para el desarrollo de numerosos patógenos, estas bacterias, al disminuir la disponibilidad de hierro, obstaculizan el crecimiento del patógeno, generando un entorno menos favorable para su multiplicación (Morel et al., 2021).

Estas bacterias, además de producir antibióticos y sideróforos, poseen la habilidad de generar resistencia sistémica adquirida (ISR, en inglés) en las plantas, esto implica que, al ser colonizadas por estos microorganismos, las plantas forman una protección más eficaz no solo frente a la sigatoka negra, sino también frente a

otros patógenos y factores de estrés; la ISR estimula diversas vías de comunicación en la planta, tales como la generación de proteínas defensivas (como *quitinasas*, *glucanasas*), fitoalexinas y otros compuestos que robustecen la estructura celular de las plantas y obstaculizan la infiltración y difusión de agentes patógenos (Mercado et al., 2024).

Además de neutralizar directamente el patógeno, ciertos microorganismos endófitos como *Trichoderma* y *Bacillus* tienen la capacidad de competir por los recursos en los tejidos de las plantas, ocupando nichos ecológicos parecidos a los que emplearía *M. fijiensis*; esta rivalidad disminuye las posibilidades del patógeno de asentarse y reproducirse en la planta, simultáneamente, estos endófitos ofrecen una barrera biológica, lo que implica que impiden la entrada del patógeno en las células de las plantas, favoreciendo así la prevención de la infección (INIAP, 2021).

En general, estos procesos biológicos facilitan la participación de microorganismos endófitos, tales como *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp., en la regulación de la sigatoka negra en la producción de bananas; al actuar de forma conjunta y complementaria, no solo manejan directamente el patógeno, sino que también potencian la resistencia global de las plantas, disminuyendo la necesidad de fungicidas químicos y fomentando prácticas de agricultura más sustentables y amigables con el entorno (Farfan y pacheco, 2024),

A continuación, se representa en la tabla número 3 los macroorganismos endófitos utilizados en el manejo de la sigatoka negra en el cultivo de banano, cuales son su género, el mecanismo de acción y en porcentaje de efectividad (Noar et al., 2022):

2.2. Marco metodológico.

Para el presente documento se reúne información de documentos actuales artículos de investigación, bibliotecas virtuales y sitios web para ayudar a presentar las opiniones e ideas de los actores que permitan desarrollos de investigación.

Se identificaron temas relevantes, impacto de los microorganismos endófitos en el manejo de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*) en el Ecuador. Este trabajo se desarrolló como una investigación bibliográfica no experimental utilizando la técnica de análisis, revistas, textos actuales, artículos síntesis y resumen de los datos recopilados.

2.3. Resultados.

La identificación de variedades de microorganismos endófitos que residen en el cultivo de banano y que cumplen funciones vitales en su salud y rendimiento, dentro de las bacterias, especies como *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp., reconocidas por su habilidad de fomentar el crecimiento de las plantas a través de la fijación de nitrógeno y la generación de fitohormonas; en cambio, hongos tales como *Trichia* spp. y *Cladosporium* spp. *susceptible*, se han reportado por su aporte al control biológico, dado que funcionan como antagonistas naturales ante los patógenos que perjudican las raíces y el follaje del plátano, igualmente, *Fusarium* spp., a pesar de ser reconocido como un patógeno bajo determinadas condiciones.

En el terreno vinculado a las raíces del banano se identificaron, hongos micorrícicos como *Glomus* spp., que establecen vínculos simbióticos con las raíces, promoviendo la asimilación de fósforo y otros nutrientes vitales, organismos como los *Streptomyces* spp; se distinguen por su habilidad para generar sustancias antimicrobianas que resguardan al cultivo frente a infecciones; los hongos incluyen *Aspergillus* spp., por otro lado, *Penicillium* spp. también son reconocidos como endófitos relevantes, debido a su papel en la degradación de materia orgánica y la optimización de la estructura del suelo, reforzando de esta manera las defensas naturales del cultivo.

Los microorganismos endófitos resultan ser eficientes para controlar la sigatoka negra en el cultivo de banano, ya que cumplen funciones fundamentales como reguladores bioquímicos, especies bacterianas como *Pseudomonas* spp. *Basophilus* spp. han evidenciado su habilidad para generar metabolitos secundarios con actividad antifúngica, que impiden el desarrollo y la germinación de las esporas de *M. fijiensis*; Estos microorganismos también inducen la resistencia sistémica adquirida (SAR) en la planta, activando vías de señalización relacionadas con la producción de fitoalexinas y otros compuestos defensivos.

Los hongos micorrícicos como *Glomus* spp. aportan de manera eficiente al control de la sigatoka negra al optimizar la nutrición de la planta, reforzando su sistema inmunológico y disminuyendo la propensión al ataque del patógeno; *Streptomyces* spp. compuestos. y otros actinomicetos han demostrado su eficacia para desintegrar la pared celular del hongo a través de la generación de enzimas

hidrolíticas, *Penicillium* spp. implican la supresión de *M. fijiensis* al generar compuestos volátiles con características fungistáticas, en general, estos microorganismos endófilos contribuyen a disminuir la necesidad de fungicidas químicos.

En mecanismos de acción, uno de los principales aspectos clave es la generación de metabolitos secundarios con características antifúngicas, tales como sustancias volátiles, antibióticos y enzimas hidrolíticas (quitinasas y glucanasas), que degradan la pared celular del microorganismo, restringiendo su crecimiento; en caso de *Pseudomonas* spp. *Basophilus* spp. Se conocen por liberación de compuestos bioactivos que impiden la proliferación de esporas y el desarrollo micelial de la enfermedad, igualmente, hongos tales como *Trichia* spp. y *Cladosporium* spp. *susceptible*. ponen en práctica un control competitivo al colonizar rápidamente los tejidos foliares.

Otro mecanismo relevante es la inducción de resistencia adquirida sistémica (SAR) en las plantas de banano. Bacterias tales como *Streptomyces* spp. *glomus* spp. estimulan vías de señalización en la planta receptora, fomentando la generación de compuestos defensivos como fitoalexinas y proteínas vinculadas a la patogénesis (PR), endófitos tales como *Aspergillus* spp. *Penicillium* spp., aportan a la estabilización de la flora relacionada con el cultivo, lo que robustece el sistema inmunológico natural de la planta y disminuye la susceptibilidad ante el ataque, estos procesos combinados no solo eliminan de manera directa al patógeno, sino que también lo neutralizan directamente.

2.4 Discusión de resultados.

Los microorganismos endófitos tienen un rol vital en la salud y productividad del cultivo de banano, y su identificación subraya la capacidad de estos seres en la agricultura sustentable, a través de bacterias como *Bacillus* spp. durante *Pseudomonas* spp, se distinguen por su habilidad para potenciar el desarrollo vegetal a través de procedimientos como la fijación de nitrógeno y la generación de fitohormonas. Igualmente, hongos tales como *Trichia* spp y *Cladosporium* spp., de acuerdo con Bardoza et al., (2023), estos aportan al control biológico, funcionando como antagonistas naturales de patógenos que inciden en el follaje y las raíces del banano, además, también indica que la variedad de estos hongos endófitos es esencial para potenciar la resistencia del cultivo.

Se detectaron hongos micorrícicos como *Glomus* spp., que fomentan la asimilación de fósforo y optimizan la alimentación de la planta, microorganismos como *Streptomyces* spp. son famosas por su habilidad para producir compuestos antimicrobianos, salvaguardando al cultivo de infecciones, de acuerdo Morel et al., (2021), estos microorganismos no solo mejoran la salud del terreno, sino que además fortalecen las defensas naturales del plátano, los hongos tales como *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. completan esta dinámica, jugando un papel significativo en la degradación de la materia orgánica y la optimización de la estructura del terreno.

El uso de microorganismos endófitos para controlar la sigatoka negra (*M. fijiensis*) en la producción de banano, constituye una estrategia prometedora y sustentable, se indica que microorganismos como *Pseudomonas* spp. *Basophilus* spp. son esenciales por su habilidad para generar metabolitos secundarios con características antifúngicas, frenando el crecimiento del patógeno, de acuerdo con Barrera et al., (2016)., que indica que, estas funciones son importantes para disminuir la necesidad de fungicidas químicos, fomentando una gestión ambientalmente responsable, potenciando la salud de las plantas al estimular la generación de fitoalexinas y otros compuestos defensivos.

Igualmente, hongos tales como *Glomus* spp. y *Streptomyces* spp. compuestos. desempeñan funciones importantes en el fortalecimiento del sistema inmunológico de las plantas y en la eliminación directa del hongo, *Glomus* subterráneo.

Streptomyces spp. mejora la asimilación de nutrientes, potenciando la fortaleza de la planta, en contraste con *Streptomyces* spp., *Penicillium* spp. degrada la pared celular del patógeno a través de enzimas hidrolíticas, se concuerda con Namensy, (2023), que destaca por la producción de compuestos fungistáticos volátiles, eficaz para disminuir la difusión de *M. fijiensis*., estos procedimientos enfatizan la importancia de incorporar microorganismos endófilos en estrategias de control integrado de plagas.

Los mecanismos de acción de los microorganismos endófitos en la gestión de enfermedades como la sigatoka negra en banano, constituyen una respuesta completa para disminuir la incidencia de este microorganismo, bacterias tales como *Pseudomonas* spp. *Basophilus* spp. son esenciales debido a su habilidad para generar metabolitos secundarios con propiedades antifúngicas, como enzimas hidrolíticas que degradan la pared celular del hongo, limitando su crecimiento, de acuerdo con Murillo et al., (2021), estas medidas no solo restringen el desarrollo del patógeno, sino que también favorecen la sostenibilidad además se concuerda con Bardoza et al., (2023), que subrayan la importancia de estos mecanismos para la estabilidad de los cultivos en zonas con alta prevalencia de enfermedades.

Otro mecanismo de acción importante es la inducción de resistencia adquirida sistémica (SAR), que es activada por microorganismos como *Streptomyces* spp. y *Glomus* spp., que fomentan los canales de comunicación en las plantas, impulsando la generación de fitoalexinas y proteínas vinculadas a la patogénesis (PR). De acuerdo con Farfán y Pacheco (2024), estos compuestos defensivos robustecen el sistema inmunológico del banano, potenciando su habilidad para resistir el estrés biótico y disminuyendo considerablemente la vulnerabilidad al ataque por *M. fijiensis*., estas interacciones no solo ejercen un control directo sobre el patógeno, sino que también fortalecen la resistencia global de la planta a largo plazo, promoviendo una gestión más sustentable del cultivo.

3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

3.1. Conclusiones-

La detección de microorganismos endófitos relacionados con el cultivo de banano pone de manifiesto su relevancia en la salud y el desempeño del cultivo, donde estos se distinguen por promover el crecimiento a través de la fijación de nitrógeno y la generación de fitohormonas, en contraste los hongos, actúan como antagonistas naturales frente a los patógenos, los hongos micorrícicos, favorecen la absorción de nutrientes vitales, producen sustancias antimicrobianas que resguardan el cultivo.

Los microorganismos endófitos representan oportunidades para el control de la sigatoka negra en el cultivo de banano, fundamentales como reguladores bioquímicos y potenciadores de resistencia; especies bacterianas que producen metabolitos antifúngicos que frenan el crecimiento, en contraposición a hongos micorrícicos que optimizan la alimentación y fortalecen el sistema de defensa de la planta, y otros actinomicetos descomponen la pared celular, a través de enzimas hidrolíticas, y suprime el desarrollo de la enfermedad.

Los microorganismos endófitos muestran varios mecanismos de acción, la producción de metabolitos secundarios, tales como sustancias volátiles, antibióticos y enzimas hidrolíticas, como quitinasas y glucanasas, ayuda a desintegrar la pared celular de los agentes patógenos, restringiendo su desarrollo, y expulsan sustancias bioactivas que evitan la multiplicación de esporas y el crecimiento de micelios, la adquisición sistémica de resistencia (SAR).

3.2. Recomendaciones

Fomentar el uso de microorganismo benéficos, como *Bacillus* spp., *Glomus* spp., y *Streptomyces* spp., en programas de manejo integrado del cultivo de banano, priorizando su aplicación para mejorar la nutrición del suelo, el control biológico de patógeno en este caso la sigatoka y el fortalecimiento de las defensas naturales del cultivo.

Utilizar cepas como *Pseudomonasbarrera* spp., directamente en el cultivo de banano para mejorar la resistencia natural a la sigatoka negra, reduciendo así la necesidad de tratamiento químicos.

Aprovechar los mecanismos de acción de los microorganismos endófitos, en la generación de metabolismo antifúngicos y la inducción de resistencia adquirida para promover el control biológico de enfermedades en el cultivo, reduciendo la dependencia sintáctica.

4.REFERENCIAS Y ANEXOS.

4.1. Referencias bibliográficas.

- Barboza, A; Pérez, A; Chamorro, A. (2023). Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Musa x paradisiaca*.) con actividad promotora de crecimiento vegetal. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(1), 28-39.
- Barrera, J; Barraza, F; Campo, A. (2016). Efecto Del Sombrío Sobre La Sigatoka NEGRA (*Mycosphaerella Fijiensis MORELET*) En Cultivo De Plátano Cv Hartón (*Musa AAB SIMMONDS*).
- Cabrera, J. Z., Guerrero, J. Q., & Batista, R. 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.
- Castillo, 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.
- Chávez, V; Ramírez, J; Cabrera, I; Ochandía, D; Hernández, M. (2023). Biocarbón, humus y micorrizas: efecto sobre *Dioscorea alata L.* e infestación y reproducción de nematodo agallero en condiciones semicontroladas. *Revista de Protección Vegetal*, 38, cu-id.
- Córdova Llerena, L. J. (2022). Caracterización de hongos asociados a la rizosfera de *Vaccinium floribundum* del páramo de Cubillín, cantón Chambo, provincia de Chimborazo.
- Noar, R; Thomas, E; Daub, M. (31 de marzo del 2022). Características genéticas e interacciones metabólicas entre *Pseudocercospora fijiensis* y banano: avances hacia el control de la sigatoka negra. NIH. Extradió de <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9002641/>
- Delgado, B; Marquetti, I; Hernández, M; Pérez, O. (2020). La resistencia inducida por productos derivados de plantas: alternativa para el manejo de plagas agrícolas. *Revista de Protección Vegetal*, 35(3).

- ESPAC (13 de diciembre 2023). Estadísticas agropecuarias. Extraído de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- FAO (Organización De Las Naciones Unidad Para La Agricultura Y La Alimentación). (2 de febrero del 2020). La sigatoka negra en plátano y banano. Extraído de <https://www.fao.org/4/as089s/as089s.pdf>
- Farfan, E y Pacheco, J. (2024). Influencia de *Trichoderma* y extractos botánicos para el control de sigatoka negra en *Musas spp.* Tesis de posgrado.
- Galecio, M; León, K; Aguilar, R. (2020). Efecto de fuentes orgánicas y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de banano orgánico (*Musa spp. L.*). *Revista Manglar*, 17(4), 301-306.
- Galindo, L, & Mosquera, A. (2023). Biocontrol de *Fusarium spp.* en el cultivo de vainilla: Un nuevo modelo de estudio. *Revista Temas agrarios*, 28(1), 95-114.
- García, L. (2020). Diversidad de bacterias endófitas con capacidad de solubilizar fósforo, asociadas a dos especies del género *Tillandsia* en bosque seco tropical, corregimiento Las Palomas, Montería-Córdoba.
- Gutiérrez, S; & Cevallos, H. (2021). Análisis comparativo de las exportaciones bananeras del Ecuador entre el primer semestre 2019 Vs el primer semestre 2020 post Covid-19. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, (4), 9.
- INIAP. (2 de febrero 2021). Desarrollo de agrotecnologías como estrategia ante la amenaza de enfermedades que afecten la producción de Musáceas en el Ecuador. Extraído de https://iniap.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/Proyecto%20COE_2021_12_29.pdf
- Jiménez, G; Zurita, I; Álvarez, J. (2020). Análisis del impacto tributario y contable por las variaciones del precio de la caja de banano en los productores del cantón Machala, Ecuador. *Revista Dominio de las ciencias*, 6(1), 396-428.
- Kaari, M; Manikkam, R; Annamalai, K; Joseph, J. (2023). Actinobacteria as a source of biofertilizer/biocontrol agents for bio-organic agriculture. *Journal of Applied Microbiology*, 134(2), 1xac047.

- León, L; Matailo A; Romero, A; Portalanza, C. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 103-121.
- Mercado, I; Díaz, C; Pimentel, A; Vicioso, A; Muñoz, P. (2024). Uso de bacterias autóctonas promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plantaciones de banano orgánico. *Revista RIIARN* 11(2). 2409-1617.
- Miller, P. Valencia, K. (23 de diciembre 2020). Cuidado con el TR4, la enfermedad del banano que se ha convertido en la pandemia perfecta. Invest. <https://idbinvest.org/es/blog/agronegocios/cuidado-con-el-tr4-la-enfermedad-del-banano-que-se-ha-convertido-en-la-pandemia>
- Morel, M; García, S; Castillo, Y; de Dios Moya, J; Rengifo, D; Reinoso, T; Monegro, N. (2021). Aislamiento y selección de hongos endófitos nativos con potencial antagonico a nematodos fitoparásitos en plantaciones bananeras de Valverde y Montecristi. *Revista* 10 (1), 11-24.
- Murillo, A; Bermeo, M; Bolaño, R; (2021). Estudio socioeconómico de los productores de banano orgánico, Cantón Milagro, Ecuador. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 33(3), 168-180.
- Namensy, A. (2023). Los microorganismos endófitos tienen múltiples perspectivas de aplicación en agricultura. *Tecnología Hortícola*. Extreido de <https://www.tecnologiahorticola.com/microorganismos-endofitos-aplicacion-agricultura/>
- Pacheco, L; Aguilar, E; Morales, J. (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.
- Paladines, A; Zapata, C; Ramírez, D; León, A. (2022). Estudio preliminar de lamicrobiota foliar de banano y su variación en presencia del patógeno SigatokaNegra (*Pseudocercospora fijiensis*. *Revista ACI Avances en Ciencias e Ingenieras* 10(18)-2299

- Pascholati, S; de Souza, V; Cardoso, J. (2019). Inducción de la resistencia por *Trichoderma*. *Revista Trichoderma*, 239.
- Ramiro, D. (2024). Evaluación de microorganismos antagonistas en el control de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* M. Morelet) en el cultivo de banano (*Musaacuminata* x *M. balbisiana*). Tesis posgrado.
- Regalado, J; Plaza, A; 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 Desenvolvimento Sustentável*, 14(5), 591-596.
- Rey, C; Martínez, G; Ramírez, H; Pargas, R; Negro, A. (2020). Relación de las condiciones agroecológicas de un lote de planicie lacustrina con la marchitez del banano Cavendish en Aragua, Venezuela. *Revista Agronomía tropical*, 70, 1-12.
- Rodríguez, C; Hernández, L; Pérez, B; Juárez, Z. (2021). Bacterias y hongos endófitos de la familia Cactaceae y sus aplicaciones. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24.
- Salavarría, L. (2023). Influencia del microbiota del suelo en la producción bananera de la provincia de Los Ríos (*Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023*).
- Santo, F. M., Montealegre, V. G., Romero, H. C., & Minuche, P. R. (2022). Análisis de la producción y exportaciones del sector bananero ecuatoriano en el periodo 2010-2020. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 7(8), 650-664.
- Seipasa. (6 de marzo del 2024). Control de sigatoka negra: cómo abordar una de las principales enfermedades del banano. Extraído de <https://www.seipasa.com/es/blog/control-de-sigatoka-negra-en-banano/>
- Torrico, E; Gumucio, C; Cáceres, R; Aguilar, J. (2024). Microorganismos endófitos una evaluación de su importancia en la agricultura ecológica: Endophytic microorganisms an evaluation of their importance in the ecological agriculture. LATAM. *Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(3), 1186-1194.

- Valverde Luna, M. E. (2019). "Manejo y prevención de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano, en la hacienda Banaloli 1, zona de Babahoyo (*Bachelor's thesis*, Babahoyo: UTB, 2019).
- Vélez, O. (2021). Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano, métodos de control y manejo: Revisión de literatura (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2021).

4.2. Anexos

Figura 1

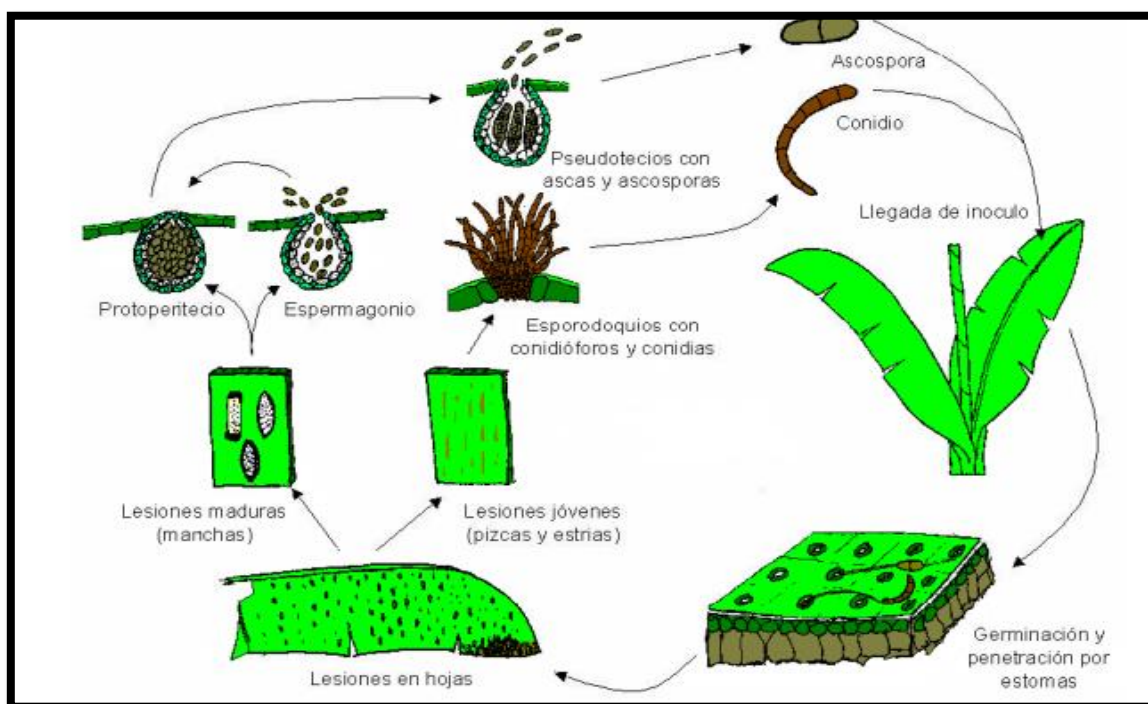
Principales hongos endófitos en el cultivo de banano.



Fuente: con Murillo et al., (2021)

Figura 2.

*Ciclo de vida de *Mycosphaerella fijiensis* hongo causante de la Sigatoka negra.*



Fuente: Bardoza et al., (2023)

Figura 3.

Modo de ataque antagónico de *Bacillus* spp (EA10), *Pseudomonas* spp (EA28), *Trichia* spp, (EA54), *Cladosporium* spp (EA26), *Glomus* spp (EA51), *Streptomyces* spp (EA53), *Penicillium* spp (EA55).



Fuente: Farfán y Pacheco, (2024).

Figura 4.

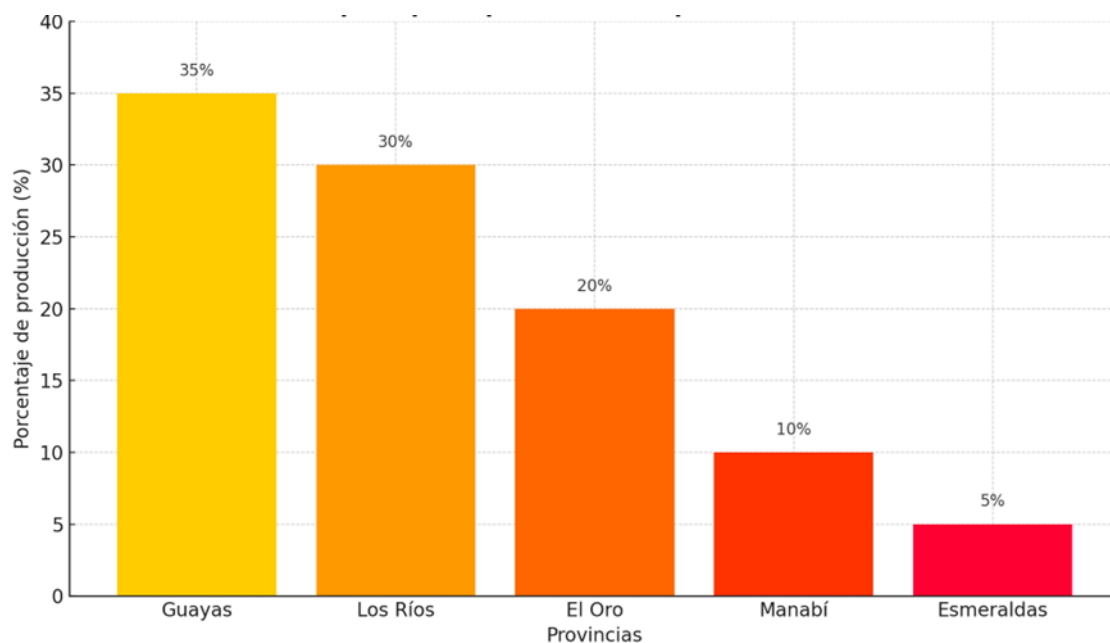
Principales zonas de producción en el país.



Fuente: ESPAC (2023); Adaptada por el autor.

Figura 5.

Contribución de las principales provincias a la producción de banano en Ecuador.



Fuente: Gutiérrez y Cevallos, (2021): ESPAC, (2023): adaptada por el autor.

Figura 6.

Vista microscópica de los principales microorganismos endófitos.



Fuente: (Namensy, 2023).

Tabla 1.

Principales zonas de afectación y su porcentaje en daño por la sigatoka negra.

Zonas productoras.	Porcentaje de daño estimado (%).	Comentarios de investigadores.
Guayas	30%	Alto nivel de afectación debido a condiciones climáticas ideales para el hongo.
Los Ríos	25%	Impacto moderado, el manejo integrado ha reducido parcialmente los daños.
El Oro	20%	Afectaciones controladas gracias a medidas fitosanitarias.
Manabí	15%	Manejo incidencia por condiciones climáticas menos favorables al hongo
Esmeraldas	10%	Baja incidencias, pero el monitoreo constante sigue siendo esencial

Fuente: (Barrera et al., 2016); adaptada por el autor.

Tabla 2.

Principales hongos y bacterias y su actuar contra la sigatoka negra.

Microorganismo	Clasificación	Beneficio para el banano	Cómo actúan contra la sigatoka negra
<i>Trichoderma harzianum</i>	Hongo	Control biológico de patógenos	Produce enzimas líticas (quitinasas, glucanasas) que degradan las paredes celulares del hongo patógeno.
<i>Fusarium oxysporum</i>	Hongo	Control biológico, promoción del crecimiento	Compite por nutrientes y espacio con <i>Mycosphaerella fijiensis</i> , limitando su proliferación.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Bacteria	Biocontrol, inhibición de patógenos	Libera sideróforos que inmovilizan hierro, esencial para el crecimiento del patógeno, y produce metabolitos antifúngicos.
<i>Bacillus subtilis</i>	Bacteria	Protección contra hongos y bacterias patógenas	Produce compuestos volátiles y lipopeptídicos que inhiben el desarrollo del hongo causante de la sigatoka negra.
<i>Streptomyces</i> spp.	Actinobacteria	Control de hongos patógenos	Genera antibióticos naturales y enzimas que degradan las paredes celulares del patógeno.
<i>Glomus</i> spp. (micorrizas)	Hongo	Solubilización de nutrientes y biocontrol	Produce compuestos antifúngicos y ácidos orgánicos que limitan el desarrollo de <i>M. fijiensis</i> .

Fuentes: Bardoza et al., (2023); Morel et al., (2021); Kaari et al., (2023); Chávez et al., (2023); Morel et al., (2021): adaptada por el autor.

Tabla 3.

Principales microorganismo endófitos su mecanismo de acción y el porcentaje de efectividad.

Microorganismo	Genero/Especie	Mecanismo de acción principal	Efectividad (%)
Hongo endófito	<i>Trichoderma</i> spp.	Producción de compuestos antimicrobiano competencia por recursos, inducción de resistencia.	60-80%
Bacteria endófito	<i>Bacillus</i> spp.	Producción de antibióticos naturales, sideróforos, y resistencia sistémica.	50-75%
Bacteria endófito	<i>Pseudomonas</i> spp.	Producción de sideróforos y antibióticos, competencia por nichos ecológicos	55-80%
Hongo endófito	<i>Cladosporium</i> spp.	Producción de compuestos bioactivos y competencia directa con el patógeno	50-70%
Actinobacterias	<i>Streptomyces</i> spp.	Producción de antibióticos y regulación hormonal en la planta	45-65%
Micorriza arbuscular	<i>Glomus</i> spp.	Mejora en la absorción de nutrientes y activación de defensas sistémicas.	40-60%

Fuentes: Noar et al., (2022), Paladines et al., (2022), Morel et al., (2021), Mercado et al., 2024), Farfan y Pacheco (2024); Adaptada por autor.