

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

EVALUACIÓN IN SITU DE LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD EN EL CONTROL DE 3  
SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis*) EN BANANO (*Musa AAA*)  
MEDIANTE EL USO DE MICROORGANISMOS Y FUNGICIDAS QUÍMICOS.

AUTORES:

CARLOS WILFRIDO PALMA MERA  
WALTER ELEUTERIO SÁNCHEZ FRANCO

DIRECTOR:

ING. LUIS EDUARDO CAGUA MONTAÑO, MSc.

*Milagro, 2024*

## Derechos de autor

**Sr. Dr.  
Fabricio Guevara Viejó**  
Rector de la Universidad Estatal de Milagro  
Presente.

Yo, **Sánchez Franco Walter Eleuterio**, 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 **Magíster en 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 Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de 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 Proyecto 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, 18 de Mayo del 2024



Firmado electrónicamente por:  
**WALTER ELEUTERIO  
SANCHEZ FRANCO**

**Sánchez Franco Walter Eleuterio**

**C.I. 030129592-9**

## Derechos de autor

**Sr. Dr.  
Fabricio Guevara Viejo**  
Rector de la Universidad Estatal de Milagro  
Presente.

Yo, **Palma Mera Carlos Wilfrido**, 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 **Magíster en 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 Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de 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 Proyecto 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, 18 de Mayo del 2024



Firmado electrónicamente por:  
CARLOS WILFRIDO  
PALMA MERA

**Palma Mera Carlos Wilfrido**  
**C.I.120612316-6**

## Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Luis Eduardo Cagua Montaña**, en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Sánchez Franco Walter Eleuterio**, cuyo tema es **Evaluación in situ de la incidencia y severidad en el control de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano (*Musa AAA*) mediante el uso de microorganismos y fungicidas químicos**, 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 Grado **Magíster 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 Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, **18 de Mayo del 2024**



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS EDUARDO CAGUA  
MONTAÑO**

**Ing. Luis Eduardo Cagua Montaña, MSc.**

**CI:0924773559**

## Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **Luis Eduardo Cagua Montaña**, en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **Palma Mera Carlos Wilfrido**, cuyo tema es **Evaluación in situ de la incidencia y severidad en el control de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano (*Musa AAA*) mediante el uso de microorganismos y fungicidas químicos**, 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 Grado **Magíster 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 Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, **18 de Mayo del 2024**



Firmado electrónicamente por:  
**LUIS EDUARDO CAGUA  
MONTAÑO**

**Ing. Luis Eduardo Cagua Montaña, MSc.**

**CI:0924773559**

v

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA**

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. SÁNCHEZ FRANCO WALTER ELEUTERIO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUACIÓN IN SITU DE LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD EN EL CONTROL DE SIGATOKA NEGRA (MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS) EN BANANO (MUSA AAA) MEDIANTE EL USO DE MICROORGANISMOS Y FUNGICIDAS QUÍMICOS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	58.33
SUSTENTACIÓN	38.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>96.33</b>
<b>EQUIVALENTE</b>	<b>Excelente</b>



Presidencia: **JUAN DIEGO VALENZUELA COBOS**

**Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO**  
**PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL**



Presidencia: **CESAR STALIN GAVIN MOYANO**

**Mgs GAVIN MOYANO CESAR STALIN**  
**VOCAL**



Presidencia: **VIVIANA LORENA SANCHEZ VASQUEZ**

**Ing. SANCHEZ VASQUEZ VIVIANA LORENA**  
**SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA**

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. PALMA MERA CARLOS WILFRIDO**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EVALUACIÓN IN SITU DE LA INCIDENCIA Y SEVERIDAD EN EL CONTROL DE SIGATOKA NEGRA (MYCOSPHAERELLA FIJIENSIS) EN BANANO (MUSA AAA) MEDIANTE EL USO DE MICROORGANISMOS Y FUNGICIDAS QUÍMICOS", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	58.33
SUSTENTACIÓN	39.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>97.33</b>
<b>EQUIVALENTE</b>	<b>Excelente</b>



Firmado digitalmente por:  
JUAN DIEGO  
VALENZUELA COBOS

Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO  
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado digitalmente por:  
CESAR STALIN GAVIN  
MOYANO

Mgs GAVIN MOYANO CESAR STALIN  
VOCAL



Firmado digitalmente por:  
VIVIANA LORENA  
SANCHEZ VASQUEZ

Ing. SANCHEZ VASQUEZ VIVIANA LORENA  
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

## DEDICATORIA

Dedicado especialmente a Dios, que nos dio las fuerzas para poder seguir con nuestros estudios.

También a nuestros padres y hermanos por su apoyo moral e incondicional.

A nuestras esposas e hijos por quienes nos esforzamos y para quienes procuramos ser el ejemplo de voluntad y progreso.

Y a todos quienes de manera directa o indirecta nos manifestaron su respaldo y apoyo para alcanzar y plasmar esta meta.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro sincero agradecimiento a:

La Universidad Estatal de Milagro UNEMI por las enseñanzas brindadas.

Dr. Fabricio Guevara Viejó, Rector de UNEMI.

Ing. Luis Eduardo Cagua Montaña, MSc. Tutor de Tesis.

## Resumen

El cultivo del banano (*Musa AAA.*) es vital para la economía agrícola ecuatoriana y enfrenta un desafío constante con la sigatoka negra, una enfermedad fúngica altamente destructiva. Este estudio se planteó como objetivo: Evaluar in situ la eficacia del control de la Sigatoka Negra en banano mediante el uso de microorganismos y fungicidas químicos. El diseño experimental incluye ocho tratamientos con cinco repeticiones, evaluando las variables incidencia y severidad en primera y segunda hoja. Se realizó el análisis de varianza y las medias fueron analizadas mediante la prueba de Fisher ( $p \geq 0.05$ ). Los tratamientos estudiados fueron: Dynamics que contiene esporas de *Trichoderma* sp., Alive que es un producto con cristales de *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y *B. velezensis*, Dynamics+Alive en dosis de 1L/ha, los fungicidas químicos Lanzador 1.5 L/ha y Manzate 1.5 Kg/ha, el aceite de uso agrícola Banole con 3.785 L/ha, S+Cop 1L/ha y un testigo sin aplicación. Se destaca que los tratamientos T1 (alive), T4 (dynamics) y T3 (dynamic + alive) consistentemente logran las incidencias más bajas, resaltando su eficacia en el control de la enfermedad. El género *Bacillus* y *Trichoderma* se identifican como agentes biocontroladores efectivos. Las recomendaciones incluyen estudios exhaustivos considerando variables climáticas y resistencia de cepas, evaluación de la sostenibilidad de tratamientos T1 y T4, implementando en los programas fitosanitarios el uso de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* sp. para el manejo integrado de enfermedades en plantaciones de banano.

**Palabras clave:** *Bacillus subtilis*, *Trichoderma*, Manejo fitosanitario, Agricultura sostenible, manejo integrado de enfermedades

## Abstract

Banana cultivation (*Musa AAA.*) is vital to the Ecuadorian agricultural economy and faces a constant challenge with black Sigatoka, a highly destructive fungal disease. The objective of this study was: To evaluate in situ the effectiveness of the control of Black Sigatoka in banana through the use of microorganisms and chemical fungicides. The experimental design includes eight treatments with five repetitions, evaluating the variables incidence and severity in the first and second leaf. Analysis of variance was performed and the means were analyzed using Fisher's test ( $p \geq 0.05$ ). The treatments studied were: Dynamics, which contains spores of *Trichoderma* sp., Alive, which is a product with crystals of *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens* and *B. velezensis*, Dynamics+Alive in doses of 1L/ha, the chemical fungicides Lanzador 1.5 L/ha. ha and Manzate 1.5 Kg/ha, the agricultural oil Banole with 3,785 L/ha, S+Cop 1L/ha and a control without application. It is highlighted that the treatments T1 (alive), T 4 (dynamics) and T3 (dynamic + alive) consistently achieve the lowest incidences, highlighting their effectiveness in controlling the disease. The genus *Bacillus* and *Trichoderma* are identified as effective biocontrol agents. The recommendations include exhaustive studies considering climatic variables and strain resistance, evaluation of the sustainability of T1 and T4 treatments, implementing the use of *Bacillus subtilis* and *Trichoderma* sp in phytosanitary programs. for the integrated management of diseases in banana plantations.

**Keywords:** *Bacillus subtilis*, *Trichoderma*, Phytosanitary management, Sustainable agriculture, integrated disease management.

## Lista de Figuras

Figura 1. Ciclo de vida de la enfermedad de la Sigatoka negra en el banano (Musa spp.) .....	14
Figura 2. Escala de evolución de los síntomas de Sigatoka negra según Fouré (1985). .....	15
Figura 3. Grados de severidad de la sigatoka negra de acuerdo a la escala de Stover modificada por Gauhl (1989).....	24
Figura 4. Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 1. .....	30
Figura 5. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la hoja 1.....	32
Figura 6. Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2.....	33
Figura 7. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la hoja 2 .....	36

## Lista de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de las variables .....	5
Tabla 2. Descripción de la información técnica de los productos comerciales evaluados en el ensayo21 .....	21
Tabla 3. Delimitación del experimento22 .....	<b>22</b>
Tabla 4. Composición del producto ALIVE .....	24
Tabla 5. Componentes y formulación del producto LANZADOR .....	25
Tabla 6. Componentes y formulación del producto MANZATE .....	26
Tabla 7. Componentes y formulación del producto S+COP .....	26
Tabla 8. Componentes y formulación del producto MANZATE .....	27
Tabla 9. Tratamientos y dosis aplicadas en la plantación de banano bajo estudio .....	27
Tabla 10. Modelo de análisis de varianza del ensayo .....	28
Tabla 11. Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja1 .....	29
Tabla 12. Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja1 .....	31
Tabla 13. Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2 .....	33
Tabla 14. Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja2 .....	34

## Índice / Sumario

Derechos de autor .....	ii
Derechos de autor .....	iii
Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación .....	iv
Aprobación del tutor del Trabajo de Titulación .....	v
.....	vi
Resumen.....	x
Abstract .....	xi
Introducción .....	1
CAPITULO I: El Problema de la Investigación.....	3
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Delimitación del problema .....	3
1.2.1 Espacio.....	3
1.2.2 Tiempo.....	3
1.2.3 Universo .....	4
1.3 Formulación del problema.....	4
1.4 Pregunta de investigación .....	4
1.5 Determinación del tema.....	4
1.6 Objetivo general.....	4
1.7 Objetivos específicos .....	4
• Determinar el porcentaje de inhibición de la sigatoka negra con la aplicación de cada fórmula comercial de microorganismos biocontroladores .....	4
• Evaluar la eficacia de las fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores en la reducción de los síntomas de la sigatoka negra.....	4

• Identificar que tratamiento es el más efectivo de las tres fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores en la inhibición y reducción de la sigatoka negra en banano .....	4
1.8 Hipótesis .....	4
1.9 Declaración de las variables (operacionalización).....	5
1.9.1 Variable Independiente.....	5
1.9.2 Variables Dependientes o de respuesta .....	5
Tabla 1.....	5
Operacionalización de las variables .....	5
1.10 Justificación .....	6
1.11 Alcance y limitaciones .....	6
1.11.1 Alcance.....	6
1.11.2 Limitaciones.....	7
CAPITULO II: Marco teórico referencial.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación.....	8
2.2.1. El banano (Musa AAA) en Ecuador.....	11
2.2.2 La Sigatoka Negra (Mycosphaerella fijiensis) .....	12
2.2.3 Importancia Economica de la Sigatoka Negra .....	13
2.2.4 Ciclo de vida del hongo Mycosphaerella fijiensis .....	13
Figura 1 .....	14
Ciclo de vida de la enfermedad de la Sigatoka negra en el banano (Musa spp.) .....	14
2.2.5 Sintomatología de Mycosphaerella fijiensis.....	15
Figura 2 .....	15
Escala de evolución de los síntomas de Sigatoka negra según Fouré.....	15
2.2.6 El control biológico de enfermedades .....	15
2.2.7 Los microorganismos biocontroladores .....	17

2.2.8 El género <i>Bacillus</i> spp. como antagonista sobre agentes patógenos en el cultivo de banano .....	17
2.2.9 Los pesticidas químicos y biológicos en el control de la sigatoka negra .....	19
CAPÍTULO III: Diseño metodológico .....	21
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	21
3.2 La población y la muestra .....	21
3.2.1 Características de la población .....	21
Tabla 2.....	21
Descripción de la información técnica de los productos comerciales evaluados en el ensayo.....	21
3.2.2 Delimitación de la población .....	22
Tabla 3.....	22
Delimitación del experimento.....	22
3.2.3 Tipo de muestra .....	22
3.2.4 Tamaño de la muestra .....	22
3.2.5 Proceso de selección de la muestra.....	23
3.3 Los métodos y las técnicas .....	23
3.3.1 Diseño de la investigación.....	23
Figura 3 .....	23
Grados de severidad de la sigatoka negra de acuerdo a la escala de Stover modificada por Gauhl (1989).....	23
Tabla 4.....	24
Composición del producto ALIVE.....	24
Tabla 5.....	25
Componentes y formulación del producto LANZADOR.....	25
Tabla 6.....	26
Componentes y formulación del producto MANZATE.....	26
Tabla 7.....	26
Componentes y formulación del producto S+COP.....	26

Tabla 8.....	27
Componentes y formulación del producto MANZATE.....	27
<b>3.1    Procesamiento estadístico de la investigación.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.1    Tratamientos.....</b>	<b>27</b>
Tabla 9.....	27
Tratamientos y dosis aplicadas en la plantación de banano bajo estudio.....	27
Tabla 10.....	28
Modelo de análisis de varianza del ensayo.....	28
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados.....	29
<b>4.1    Análisis de los resultados.....</b>	<b>29</b>
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.....	29
La prueba de Fisher al 5% (figura 5) se identificó tres rangos de significación estadística, el tratamiento T1 (Alive) obtuvo el menor AUDPC de 271.18, significativamente menor a los productos químicos y al aceite mineral que ocuparon rangos intermedios en comparación con el tratamiento T8 (T. absoluto) que presentó un AUDPC 579,79 siendo el valor más alto en este estudio.....	29
Tabla 11.....	29
Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja1.....	29
Figura 4.....	30
Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja1.....	30
Tabla 12.....	31
Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja1.....	31
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.....	31
Figura 5.....	32
Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la hoja 1.....	32

Tabla 13 .....	33
Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2.....	33
<i>Nota.</i> La tabla muestra el porcentaje área foliar afectada y el tratamiento que mejor inhibió el desarrollo de la enfermedad .....	33
Figura 6 .....	33
Curva de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2 .....	33
.....	33
<b>S+COP:</b> Con un % AFA de 23.20, este tratamiento muestra un nivel relativamente bajo de afectación en las hojas .....	34
<b>ALIVE:</b> Con un % AFA de 25.73, este tratamiento también muestra una afectación moderada en las hojas, pero sigue siendo relativamente bajo en comparación con algunos otros tratamientos. ....	34
<b>MANZATE + BANOLE:</b> Con un % AFA de 28.267, este tratamiento muestra una afectación notablemente alta en las hojas, lo que indica una eficacia limitada en la protección contra la enfermedad o el estrés .....	34
<b>LANZADOR:</b> Con un % AFA de 28.267, este tratamiento muestra una afectación notablemente alta en las hojas, lo que indica una eficacia limitada en la protección contra la enfermedad o el estrés.....	34
<b>CONTROL:</b> Con un % AFA de 66.67, este tratamiento muestra la mayor afectación en las hojas, lo que indica una falta de protección contra la enfermedad o el estrés, lo que sugiere que este tratamiento no ofrece protección o tratamiento contra la enfermedad.....	34
Tabla 14 .....	34
Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja2 .....	34
<i>Nota.</i> 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 .....	34
Figura 7 .....	36
Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de la hoja 2.....	36
<b>4.2 Interpretación de resultados</b> .....	37
<b>CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	39

5.1 Conclusiones .....	39
5.2 Recomendaciones .....	39
Bibliografía .....	41
Anexos .....	46

## Introducción

El cultivo del banano (*Musa AAA.*) es uno de los pilares fundamentales de la economía agrícola en muchas regiones tropicales alrededor del mundo y principalmente en el Ecuador. Sin embargo, este cultivo enfrenta un desafío constante y severo como lo es la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*), que es una enfermedad fúngica que ha demostrado ser altamente destructiva para las plantaciones de banano. La sigatoka negra afecta la calidad y la cantidad de la producción, lo que a su vez tiene un impacto negativo en la rentabilidad de los agricultores y en el suministro global de banano (Llerena y Castaño, 2019).

Frente a esto, surge una necesidad crítica de encontrar soluciones sostenibles para controlar la sigatoka negra. Una de las estrategias prometedoras es la aplicación de microorganismos biocontroladores. Estos microorganismos beneficiosos pueden competir con los patógenos dañinos, inhibir su crecimiento y reducir los síntomas de la enfermedad (Manobanda et al., 2019).

La industria bananera desempeña un papel fundamental en la economía global, siendo uno de los cultivos más importantes y ampliamente cultivados en el mundo. Sin embargo, este cultivo, particularmente el banano de la variedad *Musa AAA*, se encuentra constantemente amenazado por diversas enfermedades que pueden causar pérdidas significativas en la producción. Entre estas enfermedades, la Sigatoka Negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, representa una de las principales preocupaciones para los productores de banano. La Sigatoka Negra es altamente destructiva y puede resultar en la reducción del rendimiento, la disminución de la calidad de los frutos y en última instancia, pérdidas económicas considerables (Barriga et al., 2022) .

En este contexto, la búsqueda de estrategias efectivas y sostenibles para el control de la Sigatoka Negra es de suma importancia. En los últimos años, se ha prestado una creciente atención al uso de microorganismos biocontroladores como una alternativa prometedora para mitigar esta enfermedad en los cultivos de banano. Estos microorganismos beneficiosos, que incluyen bacterias y hongos, pueden competir con *Mycosphaerella fijiensis* y en algunos casos, ejercer un efecto supresor directo sobre el patógeno (Chávez et al., 2020).

El estudio se 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. EL contexto de la investigación propone el potencial de abrir nuevas perspectivas para el manejo de enfermedades en cultivos de banano, alentando prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Además, pueden contribuir al fortalecimiento de la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de las regiones dependientes de la producción de banano.

## CAPITULO I: El Problema de la Investigación

### 1.1 Planteamiento del problema

La Sigatoka negra es una enfermedad foliar devastadora que afecta a las plantas del género Musa, como el banano y el plátano. Es considerada un hongo del género Ascomycete que puede causar grandes pérdidas de rendimiento y calidad de la fruta.

El control químico de la Sigatoka negra ha sido el método tradicional de manejo de la enfermedad. Sin embargo, el uso excesivo de fungicidas ha contribuido al desarrollo de resistencia del hongo a estos productos, así como a la contaminación de fuentes hídricas, suelos y ambiente en general afectando además a la salud de los trabajadores agrícolas y posiblemente a los consumidores de la fruta por los probables efectos residuales de los fungicidas químicos empleados.

Al ser la Sigatoka negra una enfermedad importante que afecta al presupuesto de producción de banano, el uso indiscriminado de pesticidas contribuye al desarrollo de resistencia del hongo, por lo que es necesario buscar alternativas ecológicas al control químico.

Los microorganismos biocontroladores constituyen en una alternativa ecológica al control químico de la Sigatoka negra. Estos microorganismos producen sustancias como enzimas o proteínas que inhiben o controlan el crecimiento del hongo.

Se necesitan más estudios para evaluar su eficacia en condiciones de campo. Estos resultados de estudio contribuirán a evaluar la eficacia de las fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores para ayudar en el control de la Sigatoka negra en banano.

### 1.2 Delimitación del problema

El problema se ha delimitado de la siguiente manera:

#### 1.2.1 *Espacio*

El trabajo investigativo se desarrolló en el cantón Naranjal - Jesús María en la parcela de la empresa FUMIPALMA S.A.

#### 1.2.2 *Tiempo*

El trabajo de campo se llevó a cabo entre el 3 de octubre del 2023 y el 11 de diciembre del 2023.

### **1.2.3 Universo**

El universo corresponde a los productores de banano de la empresa FUMIPALMA S.A en una parcela de 50 m por 30 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:

Cuál es la incidencia y severidad de la Sigatoka Negra en cultivos de banano (*Musa AAA*) al emplear microorganismos *Trichoderma spp.*, *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens* y *B. velenzensis*, además fungicidas químicos como estrategias de control, y cómo se comparan sus efectos en condiciones de campo.

### **1.4 Pregunta de investigación**

¿Cómo se evalúa la eficacia de las fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores en la reducción de los síntomas de la sigatoka negra, y cuáles son los resultados obtenidos en este sentido?

### **1.5 Determinación del tema**

El propósito del trabajo fue la evaluación *in situ* de la incidencia y severidad en el control de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano (*Musa AAA*), mediante el uso de microorganismos y fungicidas químicos en el Cantón Naranjal en la parcela de la empresa FUMIPALMA S.A.

### **1.6 Objetivo general**

Evaluar *in situ* la eficacia del control de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano (*Musa AAA*) mediante el uso de microorganismos y fungicidas químicos.

### **1.7 Objetivos específicos**

- *Determinar el porcentaje de inhibición de la sigatoka negra con la aplicación de cada fórmula comercial de microorganismos biocontroladores.*
- *Evaluar la eficacia de las fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores en la reducción de los síntomas de la sigatoka negra.*
- *Identificar que tratamiento es el más efectivo de las tres fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores en la inhibición y reducción de la sigatoka negra en banano.*

### **1.8 Hipótesis**

Al evaluar las fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores en plantaciones de banano los tratamientos inhiben la acción de *M. fijiensis* causante de la Sigatoka Negra.

## 1.9 Declaración de las variables (operacionalización)

### 1.9.1 Variable Independiente

Las fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores.

### 1.9.2 Variables Dependientes o de respuesta

Las variables dependientes o de respuesta fueron la Incidencia y la severidad.

La operacionalización de las variables independiente como de respuesta se presentan a continuación.

**Tabla 1.**

Operacionalización de las variables

VARIABLE	OPERATIVIDAD	MEDICIÓN	INDICADOR
V. Independiente	Fórmulas Comerciales de Microorganismos Biocontroladores	Se operacionalizará mediante la aplicación práctica de diferentes fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores disponibles en el mercado.	Se identificarán y seleccionarán las fórmulas específicas a utilizar en el estudio.
<b>V. DEPENDIENTE</b>			
Incidencia de Sigatoka Negra	La presencia o ausencia de la enfermedad Sigatoka Negra en las plantas de banano.	Se registrarán y contabilizarán las plantas que presentan síntomas de Sigatoka Negra y aquellas que no presentan ningún síntoma	Número de plantas afectadas versus número de plantas libres de la enfermedad.
Severidad de Sigatoka Negra	El grado de afectación y los síntomas observados en las plantas de banano	Se utilizará una escala visual o métrica para cuantificar	Grado de decoloración, tamaño y cantidad de manchas en las hojas,

---

que muestran signos de la y cualquier otro de la enfermedad en cada síntoma específico de Sigatoka Negra. planta, asignando la enfermedad. valores numéricos a los diferentes niveles de afectación.

---

*Nota:* En la tabla se aprecia la descripción operacional de las variables independiente y dependientes o de respuesta

## **1.10 Justificación**

La investigación sobre la evaluación *in situ* la eficacia del control de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano (*Musa AAA*) mediante el uso de microorganismos y fungicidas químicos, es crucial debido a que la enfermedad se encuentra ampliamente extendida y afecta significativamente la producción de banano, reduciendo los rendimientos y afectando la calidad de la fruta. Dicha enfermedad tiene un impacto económico sustancial en la industria bananera a nivel mundial, pero sobre todo en países con economías emergentes como el Ecuador.

Además, el uso de microorganismos biocontroladores constituye en una alternativa al control químico de enfermedades en las plantas considerándose como un área de investigación en constante desarrollo. Estos microorganismos ofrecen la posibilidad de controlar patógenos sin recurrir a productos químicos nocivos, lo que no solo beneficia la salud del cultivo y del suelo, sino que también tiene implicaciones positivas para la sostenibilidad ambiental.

Por lo tanto, es fundamental evaluar la eficacia de diferentes formulaciones comerciales de microorganismos biocontroladores en la prevención y reducción de la enfermedad en las plantaciones de banano. Los resultados pueden proporcionar información preponderante para los agricultores, permitiéndoles adoptar estrategias de manejo más efectivas y sostenibles, reduciendo la dependencia de pesticidas y mejorando la producción y calidad del banano.

## **1.11 Alcance y limitaciones**

### **1.11.1 Alcance**

- El estudio busca aportar al conocimiento científico sobre métodos alternativos y sostenibles para el control de la Sigatoka Negra, una enfermedad que tiene un impacto económico significativo en la producción de banano en el Ecuador.

- Al evaluar fórmulas comerciales de microorganismos biocontroladores, se pretende identificar qué productos pueden ser más eficaces en inhibir y reducir los síntomas de la Sigatoka Negra. Esto puede tener aplicaciones prácticas en la agricultura, proporcionando a los agricultores opciones más efectivas y respetuosas con el medio ambiente.
- Dado que el banano es un cultivo alimentario de gran consumo en muchas partes del mundo, especialmente en áreas de África, Asia, Europa, USA y América Latina, los resultados del estudio pueden tener un impacto directo en la seguridad alimentaria y en la economía de las comunidades agrícolas.

### **1.11.2 Limitaciones**

A pesar del alcance y la importancia del tema, existen ciertas limitaciones que deben ser consideradas:

- Los resultados pueden estar influenciados por las condiciones específicas del lugar donde se realiza el estudio. Las variaciones geográficas, climáticas y edáficas pueden afectar la efectividad de los microorganismos biocontroladores.
- La duración del estudio puede limitar la observación a corto plazo de los efectos de las fórmulas comerciales. La Sigatoka Negra posee ciclos estacionales, y un estudio a corto plazo puede no captar completamente la eficacia a lo largo del tiempo.
- Factores externos como la presencia de otras enfermedades, las evidentes consecuencias del cambio climático inesperado o variaciones en las prácticas agrícolas pueden afectar los resultados y limitar la generalización de los hallazgos.
- La respuesta a las fórmulas estudiadas puede variar entre los diferentes materiales genéticos de banano. El estudio puede no abordar todas las posibles variedades cultivadas a nivel local y regional.

## CAPITULO II: Marco teórico referencial

### 2.1 Antecedentes

#### 2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

En un estudio realizado en el Laboratorio de Ecología Microbiana de la Universidad de La Habana, se investigó la capacidad de aislados de *Bacillus* para antagonizar dos hongos fitopatógenos, *Fusarium oxysporum* y *F. moniliforme*. De las 14 cepas de *Bacillus* evaluadas, el 64% inhibió el crecimiento de *F. oxysporum* en más del 80% tanto a los siete como a los 15 días. En la interacción con *F. moniliforme*, dos aislados lograron más del 50% de inhibición a los siete días, y seis lo hicieron después de los 15 días. Esto destaca el potencial de cepas de *Bacillus* como agentes antagonistas efectivos contra *Fusarium*, lo que llevó a la selección de los aislados RCGr32, RCQ7 y RCGr33 como prometedores para el control biológico de estos hongos fitopatógenos (Rojas et al., 2017).

Una investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, resalta la importancia de ciertas especies de *Bacillus* en la agricultura, estas promueven el crecimiento de las plantas y actúan como biocontroladores. Estos microorganismos forman endosporas, lo que facilita su supervivencia. Su potencial como alternativa de control se debe a mecanismos como la producción de compuestos antimicrobianos, hormonas vegetales, colonización de raíces, formación de biopelículas y competencia por recursos. Las enzimas de *Bacillus* degradan componentes de las paredes celulares de patógenos, emiten compuestos orgánicos volátiles e inducen resistencia sistémica en las plantas. Aunque estos mecanismos se han estudiado en laboratorio, es crucial considerar la interacción en condiciones de campo para comprender mejor su eficacia como biocontroladores en la agricultura (Pedraza et al., 2020).

La Sigatoka negra y su impacto negativo en la producción y comercialización del banano, especialmente para los productores en América Latina. Esta enfermedad es reconocida como una de las principales preocupaciones en la producción de banano en la región. Se recopiló información a través de la revisión de diversos recursos. Entre los hallazgos destacados se encuentran los efectos adversos en los actores de la cadena de valor del banano, las condiciones socioeconómicas de los productores, el entorno y la salud de las poblaciones cercanas a las plantaciones de banano. Se destaca la complejidad de

erradicar la Sigatoka negra sin implementar un manejo integrado de la enfermedad (Álvarez et al., 2013).

Durante la temporada de lluvias la Sigatoka Negra en plantaciones de banano, se evaluaron los fungicidas Clorotalonil, Mancozeb y Metiram con protectores alternados con fungicidas sistémicos. Se empleó un diseño de bloques completos al azar, evaluando la infección temprana, estado de las hojas, conteo de hojas y aparición de manchas en plantas de tres metros. Todos los tratamientos, incluido el control, fueron efectivos en el control directo de la enfermedad durante la temporada de invierno. El tratamiento de mancozeb + sistémico destacó por su acción preventiva en la infección temprana. La gravedad de la enfermedad se mantuvo en un rango del 1 al 5% en todos los tratamientos, y la aparición de manchas fue más rápida en el tratamiento con Clorotalonil + sistémico. Además, este el tratamiento resultó ser el más económico, con un costo estimado de \$723.19 por hectárea (Mayorga et al., 2022).

La presencia de patógenos que causan enfermedades en los cultivos de plátano en Nicaragua ha afectado negativamente los rendimientos e ingresos de los productores, comprometiendo la seguridad alimentaria. Un estudio realizado en Rivas entre enero y septiembre de 2014 buscó evaluar la incidencia y severidad de estas enfermedades. Se identificaron patógenos como *Micosphaerella fijiensis*, *Erwinia sp.* y *Verticillium sp.* en los cultivos de plátano. Los resultados mostraron que la incidencia y severidad de estos agentes causales de enfermedades fueron consistentes en seis fincas a lo largo de todos los meses de muestreo, destacando la necesidad de abordar eficazmente este desafío agrícola (Castillo y Jiménez, 2020).

La principal amenaza para el cultivo de banano es la Sigatoka negra, causada por el hongo *M. fijiensis* Morelet. Se estudiaron estrategias de control, como el uso de fungicidas protectores con azufre y enfoques microbiológicos, combinados con fungicidas. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar con 7 tratamientos y 10 repeticiones cada uno. Se evaluaron el porcentaje de área foliar afectada y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad. Los resultados indicaron que el tratamiento con azufre elemental fue la estrategia más eficaz para controlar la enfermedad. En consecuencia, sugieren que la inclusión de azufre elemental a una concentración de 800 gramos por kilogramo, aplicado a una dosis de 3 kilogramos por hectárea, puede ser una estrategia eficiente cuando se combina con fungicidas para controlar la Sigatoka negra (García et al., 2022).

Investigadores del Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad EAFIT en Colombia examinaron el papel funcional de los componentes del *Bacillus tequilensis* EA-CB0015 en la protección contra la infección por *P. fijiensis* en plantas de banano (*Musa AAA* cv. Williams). Los resultados mostraron que los lipopéptidos de EA-CB0015 reducen significativamente la gravedad de la enfermedad, y las células bacterianas colonizan la superficie de las hojas en las primeras 48 horas postinoculación. Además, la espectrometría de masas revela una mayor producción de surfactinas durante la colonización. En conjunto, los hallazgos sugieren que las estrategias de control biológico de MBCA contra *P. fijiensis* involucran interacciones directas vía antibiosis, así como interacciones indirectas vía competencia por nutrientes y espacio (Cuellar et al., 2021).

Un estudio buscó evaluar *Trichoderma sp* y *Bacillus subtilis*, individualmente y en combinación, junto con el químico NATIVO® SC 300 para controlar la Sigatoka negra en Tola, Rivas. Sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis*, es una amenaza para los cultivos de musáceas. La mezcla de *Trichoderma sp* y *Bacillus subtilis* mostró la mejor eficacia con un 30.26% de severidad, seguida de *Trichoderma sp* con un 34.45%, y NATIVO® SC 300 con 36.09%, sin diferencias significativas. Variables como incidencia, severidad y Área Bajo la Curva de Progreso fueron evaluadas. *Mycosphaerella* fue identificado como el principal patógeno en Rivas, con mayor prevalencia en época seca. El uso de organismos biológicos demostró ser tan efectivo como los químicos, destacando su seguridad ambiental y para la salud pública (Castillo, 2022).

El hongo afecta la producción global de plátano y se evaluó su impacto en la variedad "Barraganete" mediante la fertilización con magnesio en El Carmen, Ecuador. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones y 288 plantas a una densidad de 2.222 plantas/ha. La fertilización básica N-P-K (100-40-150 Kg/ha) se combinó con seis dosis de MgO (0, 25, 50, 75, 100 y 125 Kg/ha), fraccionadas en tres partes (12, 18 y 24 hojas). Se inspeccionaron semanalmente las hojas 3 4 y 5 utilizando la escala de Fouré y se analizaron los datos con medidas repetidas en el tiempo. Se examinaron 10 plantas por tratamiento. En la semana 20 la hoja 3 mostró la mayor severidad, superando el nivel severo en los tratamientos de 75 y 125 Kg/ha de MgO. Los modelos polinómicos sugieren que la dosis de 25 Kg/ha de MgO resultó en la menor severidad de la Sigatoka Negra (Cedeño et al., 2021).

En Rivas, Nicaragua, se analizó la incidencia y gravedad de la Sigatoka negra en seis fincas plataneras de enero a septiembre de 2014. Se evaluaron el porcentaje de incidencia y la severidad de la enfermedad, el área bajo la curva del progreso de la Sigatoka negra, así como la incidencia de daños por pudrición acuosa y punta de cigarro. Se identificaron patógenos como *Mycosphaerella fijiensis*, *Erwinia* sp y *Verticillium* sp en los plátanos.

Aunque la incidencia y severidad de las enfermedades fueron similares en las seis fincas durante todo el período de muestreo, los mayores porcentajes de severidad se observaron a principios del segundo semestre de 2014, alcanzando entre el 60 % y el 70 %. La finca La Zopilota tuvo la mayor área bajo la curva de progreso de la enfermedad, seguida por San Alberto y La Granja, mientras que las demás propiedades mostraron la menor área bajo la curva de progreso de la enfermedad (Castillo y Jiménez, 2020).

### **2.2.1. El banano (*Musa AAA*) en Ecuador**

Se ha señalado que las plantas de banano, pertenecen al género *Musa*, incluyen específicamente a *Musa acuminata* (genoma A) y *Musa balbisiana* (genoma B), presentando una amplia diversidad de variedades nativas y cultivadas. Para su desarrollo, los bananos requieren condiciones tropicales, con temperaturas que oscilan entre 18°C y 30°C, con un suministro constante de agua que varía entre 100 y 180 milímetros mensuales durante todo el año. Además, se necesitan suelos profundos y buen drenaje, debido a que extraen grandes cantidades de nutrientes del suelo durante la cosecha de los frutos (Elbehri et al., 2015).

De acuerdo con fuentes del Banco Central del Ecuador, en el 2012, el sector bananero ecuatoriano tuvo un papel destacado en la economía del país al exportar 284,6 millones de cajas, generando ingresos por US \$2.235 millones y contribuyendo con más de US \$90 millones en impuestos fiscales. Esto lo convirtió en uno de los principales contribuyentes al presupuesto nacional. Estas cifras reflejan el 32% del comercio global de banano, equivalente a US \$7 mil millones, representando el 3,84% del Producto Interno Bruto (PIB) total, la mitad del PIB agrícola y el 20% de las exportaciones privadas de Ecuador (Borja, 2016).

Según el análisis del mercado realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 2020, la producción mundial de banano ha experimentado un notorio incremento. Las exportaciones alcanzaron aproximadamente 20,2 millones de toneladas hasta el año 2019, siendo este aumento atribuible en gran

medida al crecimiento en la producción bananera de países como Ecuador y Filipinas, los principales exportadores a nivel global. Se proyecta que para el año 2028, la producción mundial podría alcanzar los 135 millones de toneladas (Zhiminaicela et al., 2020).

Se realizaron ensayos utilizando esporas de *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum* y un extracto de *Saccharomyces cerevisiae* (Agro-Mos®), en rotación con fungicidas químicos tradicionales (clorotalonil y mancozeb), logrando reducir el uso total de pesticidas químicos en un 25%. Se realizaron dos ensayos, uno durante la temporada de lluvias y otro durante la temporada seca, evaluando la severidad de la enfermedad semanalmente durante 20 semanas. En todos los grupos de tratamiento, la severidad de la enfermedad fue significativamente menor ( $P < 0.05$ ) tanto en la temporada de lluvias como en la temporada seca. Los programas que incluyeron *B. subtilis* y Agro-Mos® resultaron en un menor crecimiento del patógeno para todos los síntomas de la enfermedad medidos. Estos resultados sugieren que la inclusión de productos biológicos eficaces podría reducir el uso de fungicidas químicos sin comprometer el control de la Sigatoka negra (Becker et al., 2021).

### **2.2.2 La Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*)**

La enfermedad conocida actualmente como Sigatoka negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (anamorfo *Pseudocercospora fijiensis* [Morelet] Deighton), fue descrita inicialmente en Fiji en 1963, en el mismo valle donde se detectó la Sigatoka-amarilla. A pesar de que su denominación más adecuada sería "raya negra", el término "Sigatoka-negra" ha sido ampliamente adoptado en las áreas de producción de banano (Hernández et al., 2016).

La presencia de la sigatoka negra se ha extendido mundialmente, con apariciones en diferentes países a lo largo de los años, lo que ha generado impactos considerables en la producción de banano y en la salud de las plantas. Las manchas foliares de Sigatoka comparten una sintomatología similar, con lesiones que van desde manchas pardas hasta lesiones necróticas con halos amarillentos, siendo la Sigatoka negra más visible y dañina en el envés de la hoja y en hojas jóvenes (García et al., 2019).

La Sigatoka negra (*M. fijiensis*), puede dañar áreas cruciales del tejido foliar, impactando la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis y reduciendo los recursos necesarios para su crecimiento y desarrollo. Esta situación tiene un efecto directo en la productividad

y rendimiento de las plantaciones a nivel global, generando múltiples desafíos (Vásquez et al., 2019).

### **2.2.3 Importancia Económica de la Sigatoka Negra**

La sigatoka negra tiene su origen en el sudeste asiático, y su procedencia se ha confirmado mediante un estudio de la diversidad genética que analizó 136 aislados de *Micosphaerella fijiensis* provenientes de diversas regiones geográficas del mundo, utilizando la técnica de RFLP. En 1972, se observó por primera vez en Honduras en el continente americano, desde donde se propagó a los países productores de banano en América Central, América del Sur, América del Norte y algunas islas del Caribe. En Colombia, se registró por primera vez en 1981 en la zona bananera.

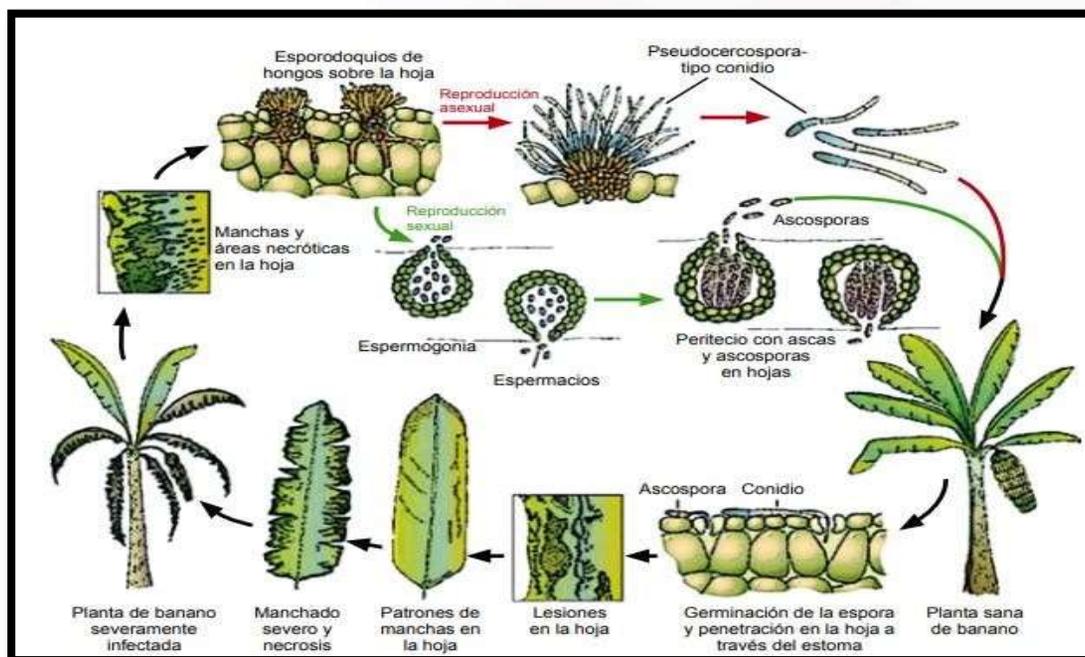
La sigatoka negra se considera una de las enfermedades más limitantes en las plantaciones comerciales de banano debido a los elevados costos asociados con su control. El manejo de esta enfermedad aumenta los costos de producción en un 27%, y en el caso del plátano, las pérdidas pueden llegar hasta el 50%, mientras que, en el banano, alcanzan hasta el 70%. Los efectos de la enfermedad en la fruta de exportación incluyen la reducción del período de vida verde del fruto entre seis y 14 días, así como una disminución en el peso del fruto de hasta el 40% (Campo, Vélez, & Barrera, 2020).

### **2.2.4 Ciclo de vida del hongo *Mycosphaerella fijiensis***

El ciclo de vida de la enfermedad de la Sigatoka negra, causada por el hongo *M. fijiensis*, comienza con la liberación de esporas al aire. Estas esporas pueden depositarse sobre hojas de banano sanas o enfermas. Para que las esporas germinen y penetren en la hoja, se requieren condiciones ambientales favorables, como una humedad relativa del 90 al 100 % y temperaturas que oscilan de 26 a 28 °C (Casas et al., 2021).

**Figura 1.**

Ciclo de vida de la enfermedad de la Sigatoka negra en el banano (*Musa spp.*)



*Nota.* en esta figura el ciclo de vida y el tipo de reproducción sexual y asexual del hongo *M. fijiensis*, causante de la enfermedad Sigatoka Negra (Sánchez , 2016)

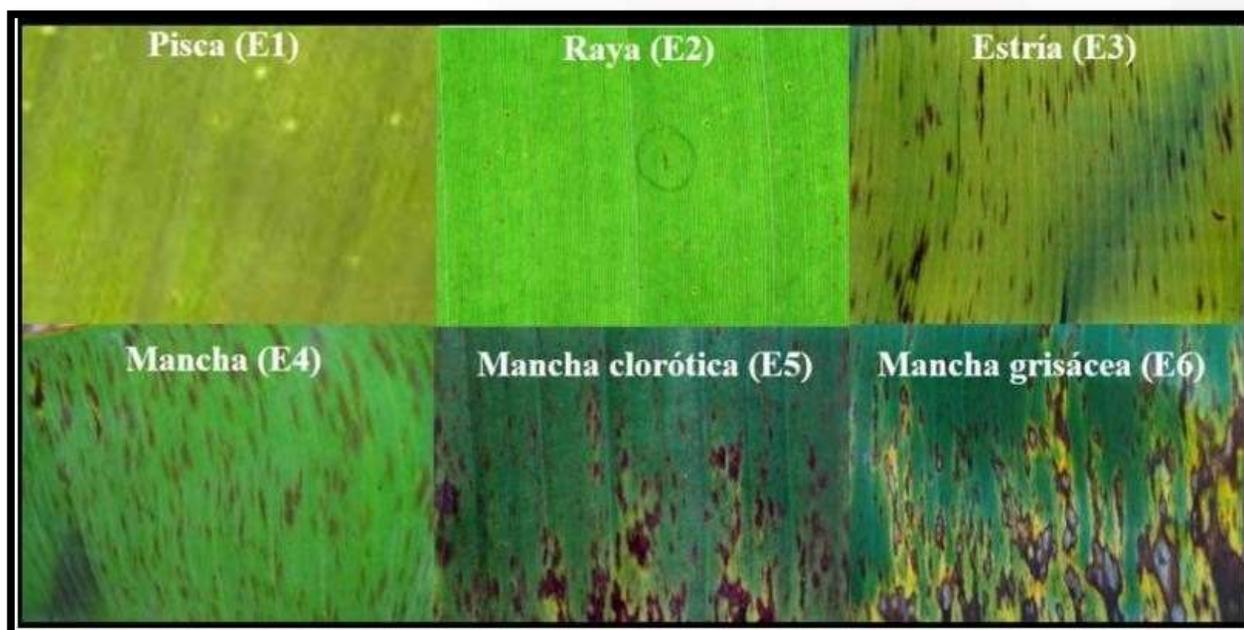
En condiciones favorables, las esporas germinan en un período de 2 a 6 horas. Los tubos germinativos que se forman se extienden y ramifican en busca de las estomas, que son los poros que permiten el intercambio de gases entre la hoja y la atmósfera. Cuando un tubo germinativo encuentra una estoma, penetra en la hoja a través de él. El hongo comienza a crecer dentro de la hoja, formando una red de hifas. El proceso de infección tarda de 2 a 3 días si las condiciones ambientales son las adecuadas (Hernández et al., 2016),

Durante la infección, existe una amplia comunicación extracelular entre el patógeno (*M. fijiensis*) y las células hospederas, donde las proteínas fúngicas como celulasas, hemicelulasas, pectinasas, esterases, cutinasas, oxidorreductasas, entre otras, desempeñan funciones vitales en la nutrición fúngica al degradar la pared celular del tejido foliar para su alimentación. Identificar los estadios de la Sigatoka negra en cada etapa de su desarrollo resulta clave para su control (González et al., 2018).

### 2.2.5 Sintomatología de *Mycosphaerella fijiensis*.

Figura 2.

Escala de evolución de los síntomas de Sigatoka negra según Fouré .



*Nota.* En esta imagen se representa los estadios de la Sigatoka Negra, desde el punto, raya, estría, mancha, quema, hasta su sexto estadio que es necrosis (Fouré ,1985).

Durante el primer estadio, las manchas causadas por *M. fijiensis* miden 0.25 mm y son de color blanquecino amarillento, pero con la humedad crecen hasta alcanzar 1 mm, cambiando a tonos pardos rojizos en el segundo estadio. Este último se caracteriza por estrías de 1 a 2 mm que son visibles a trasluz y presentan líneas paralelas. En el tercer estadio, las estrías superan los 2 mm, marcando la formación de conidios y el inicio de la fase sexual. En el cuarto estadio, las estrías toman una forma ovalada y se inicia la producción de ascosporas. En el quinto estadio, se observa la quema del tejido en ambas caras de la hoja, adquiriendo un tono plomizo y en el sexto estadio durante la fase sexual, el tejido necrosado se quiebra fácilmente con el contacto físico (Gutierrez et al., 2015).

### 2.2.6 El control biológico de enfermedades

En Ecuador, la agricultura se caracteriza por grandes áreas de cultivo en la costa, mientras que en la sierra se utilizan parcelas más pequeñas, que van desde 0,5 a 10 hectáreas. Los periodos de alta pluviosidad favorecen la proliferación de hongos y bacterias, lo que conduce al surgimiento de enfermedades como la moniliasis en el cacao y el tizón tardío en la papa, tanto en la etapa de cosecha como en la postcosecha. Estas enfermedades

pueden ocasionar pérdidas considerables, como, por ejemplo, daños que van desde un 10% en países desarrollados hasta un 50% en la costa ecuatoriana debido a la sigatoka negra en el banano. A pesar de la diversidad de los sistemas de producción en la zona andina, la presencia de plantas susceptibles a estas enfermedades las convierte en amenazas significativas para la producción agrícola (Falconí, 2014).

Una alternativa es el control biológico para sustituir el uso de productos químicos para el control de plagas y enfermedades en la agricultura. Esta estrategia se basa en la introducción de organismos vivos o sus productos metabólicos para combatir la propagación y crecimiento de agentes dañinos para las plantas. A medida que se descubren más microorganismos con capacidad antimicrobiana contra fitopatógenos, se amplía el potencial de su uso en este tipo de control. Entre estos microorganismos, los hongos, como los del género *Trichoderma*, se emplean para combatir patógenos de la raíz, actuando a través de micoparasitismo, antibiosis, competencia por recursos y desactivación de enzimas del patógeno (Reyes et al., 2015).

La bacteria *Bacillus spp.* una vez que coloniza la planta, es conocido por su capacidad para estimular el crecimiento de las plantas, inducir resistencia sistémica mediante diversos compuestos antimicrobianos como lipopéptidos, antibióticos y enzimas, y competir con otros microorganismos patógenos por espacio y nutrientes (Bhairav et al, 2023).

Las fengicinas constituyen un lipopéptido bioactivo generado por ciertas cepas de *Bacillus subtilis*, exhibiendo propiedades antifúngicas dirigidas hacia los filamentos de los hongos. Al igual que la mayoría de los péptidos antimicrobianos naturales, se presume que las fengicinas ejercen su acción al aumentar la permeabilidad de la membrana plasmática de la célula objetivo. Se sabe que los lipopéptidos tienen la capacidad de actuar de manera sinérgica, y diversos estudios sugieren la sinergia entre surfactinas e iturrinas, surfactinas y fengicinas, así como fengicinas e iturrinas (Sánchez , 2016).

No obstante, la eficacia de la estrategia de control biológico en comparación con la química puede fluctuar según el tipo de cultivo, fitopatógeno, momento y el lugar de aplicación, influyendo en la relación entre los costos y los beneficios asociados a este ensayo (Castillo y Jiménez, 2020).

### **2.2.7 Los microorganismos biocontroladores**

Las especies de *Bacillus* son destacadas en el control biológico como biopesticidas, contribuyendo a la supresión de patógenos mediante antagonismo y competencia. *Bacillus* spp. inhibe el crecimiento de patógenos mediante mecanismos como la competencia por nutrientes y espacio, producción de antibióticos, enzimas hidrolíticas, sideróforos e inducción de resistencia sistémica. Además, estas bacterias pueden actuar como biofertilizantes o bioestimulantes al facilitar la absorción de nutrientes (fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato) o proporcionar compuestos beneficiosos a la planta (biosíntesis de hormonas vegetales) (Miljaković et al., 2020).

Además de *Bacillus* spp. y otras bacterias como *Pseudomonas*, *Enterobacter* y *Serratia* han sido estudiadas por su capacidad para controlar patógenos vegetales. La combinación de estos microorganismos ha mostrado reducir significativamente la penetración de ciertos patógenos como *Radopholus similis*, lo que presenta una estrategia efectiva para inhibirlos. Estos estudios demuestran la importancia de la interacción entre las bacterias y las plantas para mejorar la resistencia de los cultivos a enfermedades específicas (Chávez et al., (2020).

### **2.2.8 El género *Bacillus* spp. como antagonista sobre agentes patógenos en el cultivo de banano.**

El género *Bacillus* fue inicialmente descrito en 1872 por Cohn como bacterias que producen esporas capaces de resistir altas temperaturas. Las especies de *Bacillus* pertenecen al Reino Bacteria, al Filo Firmicutes, a la Clase Bacilli, al Orden Bacillales y a la Familia Bacillaceae. En la actualidad, este género engloba más de 336 especies que, debido a su similitud genética, se pueden agrupar en distintas categorías. Estos grupos incluyen: a) la categoría relacionada con *B. cereus*, asociada a la patogenicidad, que engloba a *B. cereus*, *B. anthracis* *B. thuringiensis*; b) los bacilos presentes en entornos naturales, como el conjunto de *Bacillus subtilis*, que abarca a *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. amyloliquefasciens* y *B. pumilus*; c) el conjunto de *B. clausii*, *B. halodurans*; y d) el grupo que involucra a *Bacillus* sp., *B. NRRLB-14911* y *B. coahuilensis* (Villarreal et al., 2018).

Se ha evidenciado que las bacterias del género *Bacillus* poseen un alto potencial como agentes antagonistas, principalmente debido a la amplia gama de enzimas líticas, antibióticos y otras sustancias con capacidad biocida, denominadas bacteriocinas, que

pueden controlar efectivamente varias especies de organismos fitopatógenos (Méndez et al., 2018).

El género *Bacillus*, reconocido por su diversidad metabólica, destaca en la reducción de enfermedades en cultivos agrícolas al inhibir el crecimiento de sus agentes patógenos. Se han enfocado en los lipopéptidos de cepas *Bacillus*, como surfactinas e iturinas, para el control biológico de fitopatógenos, brindando protección pre y postcosecha a las plantas. Estos compuestos no solo combaten los agentes patógenos, sino que también activan mecanismos de resistencia en las plantas. La aplicación de estos lipopéptidos como biopesticidas en la agricultura podría reducir la dependencia de fungicidas sintéticos y sus impactos negativos. Sin embargo, su implementación a gran escala requiere avances en extracción, identificación y producción eficiente de estos compuestos bioactivos (Valenzuela et al., 2020).

Las bacterias rizosféricas, especialmente las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal, residen en las raíces de los cultivos y desempeñan un papel esencial en el biocontrol de patógenos. Su acción se centra en la colonización de la rizosfera, compitiendo con otros microorganismos, y se dividen en grupos según su ubicación cercana a las raíces. Estas bacterias encuentran en la rizosfera nutrientes que les permiten desarrollarse, aunque también compiten con otros microorganismos menos beneficiosos. Para crecer en este entorno, las RPCV necesitan estrategias que les otorguen competitividad, como la producción de compuestos antibióticos contra otros colonizadores de la raíz (Rodríguez et al., 2017).

La interacción de las rizobacterias involucradas en el crecimiento de las plantas se manifiesta mediante mecanismos directos e indirectos. Los mecanismos directos incluyen la producción de metabolitos que favorecen el crecimiento y la disponibilidad de nutrientes. Los mecanismos indirectos contribuyen a la resistencia de la planta a plagas, control biológico de enfermedades y producción de antibióticos. Estos mecanismos son cruciales para su eficacia en la rizosfera y para el control de fitopatógenos (Chávez et al., 2020).

Algunos estudios realizados en plantaciones de banano, las investigaciones han evaluado la actividad antagónica de cepas de *Bacillus* contra *Fusarium* raza 1, demostrando su potencial biocontrolador. Estos microorganismos, obtenidos de la filosfera de *Musa spp.*, muestran actividad antifúngica, lo que podría ser clave para el desarrollo de bioinsumos

más sostenibles y económicos para el control de enfermedades en los cultivos (Rodríguez et al., 2017).

### **2.2.9 Los pesticidas químicos y biológicos en el control de la sigatoka negra**

El control químico, aunque efectivo para gestionar la enfermedad, presenta la desventaja de aumentar considerablemente los costos de producción, especialmente para los pequeños productores. En Colombia, se destinan aproximadamente 30 millones de dólares anuales para el control químico de la Sigatoka negra, realizando 20 a 30 ciclos de aplicación de fungicidas. Estos fungicidas se dividen en protectores, como mancozeb y clorotalonil, que forman una barrera física en la hoja y sistémicos, como benzimidazoles, triazoles, estrobilurinas y morfolinás, que se absorben y distribuyen por la planta. Además, el aceite se puede utilizar como coadyuvante para mejorar la eficacia de los fungicidas, retrasando el desarrollo de la infección en las etapas iniciales y facilitando la penetración en el tejido foliar (Campo et al., 2020).

El empleo de control biológico para combatir patógenos foliares se presenta como una opción suplementaria en la gestión de enfermedades, implicando con frecuencia la aplicación de microorganismos antagonistas en la superficie de las hojas. El uso de productos biológicos no solo tiene como objetivo el control directo de patógenos, sino también alcanzar la seguridad alimentaria al garantizar la obtención de alimentos libres de sustancias tóxicas. No obstante, el éxito del antagonista seleccionado depende de su capacidad para integrarse como parte de la microbiota epifita, especialmente cuando se busca reducir el inóculo del patógeno. Por este motivo, se sugiere dar preferencia al uso de antagonistas microbianos autóctonos en lugar de aquellos aislados de otros entornos, ya que los primeros están adaptados a las condiciones específicas que determinan el hábitat en la superficie de la hoja (Cruz, y otros, 2016).

El control biológico abarca la utilización de hongos o bacterias antagonistas, así como productos orgánicos o extractos vegetales con propiedades biocidas. En este contexto, se sugiere la utilización de plantas con propiedades antifúngicas, aunque los efectos *in vitro* han sido limitados, por lo que se requiere mejorar las técnicas y dosis a nivel de laboratorio. Por lo tanto, se busca extraer compuestos bioquímicos de bajo peso molecular, conocidos como metabolitos secundarios, de especies vegetales con propiedades de biocontrol. El Aloe vera destaca como una planta medicinal fundamental a nivel mundial que contiene compuestos bioquímicos capaces de frenar la proliferación

de bacterias, hongos y virus. Aparte de los extractos vegetales que inhiben el crecimiento fúngico, existen hongos con propiedades similares, como el *Trichoderma sp.*, que en diversas investigaciones ha demostrado ser un agente antagónico eficaz gracias a la producción de enzimas, la actividad antibiótica y el mico-parasitismo (Jaramillo, Barrezueta, Luna, & Castillo , 2017).

## 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, descriptivo, y explicativo.

### 3.2 La población y la muestra

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

#### 3.2.1 Características de la población

En el presente estudio se evaluó el comportamiento controlador de productos de composición biológica (bacterias del género *Bacillus* y hongo del género *Trichoderma*) y otros de carácter químico comúnmente utilizados junto a un testigo sin aplicación alguna. 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 2.**

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

PRODUCTO	I.A	CONCENTRACIÓN g.i.a (PC)	FORMULA	DOSIS (L/Ha)	Gramos i.a/Ha
DYNAMICS	<i>Esporas de Trichoderma spp.</i>	1x10 <sup>8</sup> UFC	Líquido soluble	1	1x10 <sup>8</sup> UFC
ALIVE	<i>Cristales de Bacillus subtilis, B. amyloliquefaciens y B. velenzensis</i>	8x10 <sup>8</sup> UFC 6x10 <sup>8</sup> UFC 8x10 <sup>8</sup> UFC	Líquido soluble	1	8x10 <sup>8</sup> UFC 6x10 <sup>8</sup> UFC 8x10 <sup>8</sup> UFC

LANZADOR	Folpet	500 g	Suspensión concentrada	1.5	750 g
MANZATE	Mancozeb	800 g/Kg	Gránulos dispersables	1.5	1200 g/Kg
BANOLE	Aceite mineral parafínico	1000 g	Líquido	3.785	3785 g
S+COP	Azufre + óxido de cobre	500 g + 79 g/l	Suspensión concentrada	1	579 g/l

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 la respectiva ficha técnica

### 3.2.2 Delimitación de la población

El área ocupada para el desarrollo del estudio fue de 1500 m<sup>2</sup> con parcelas de 30 x 50 m en el que se distribuyeron 8 tratamientos y 5 repeticiones, la descripción se detalla en la Tabla 3 a continuación:

**Tabla 3.**

Delimitación del experimento

Descripción	Unidad
Número de tratamientos	8
Número de repeticiones	5
Ancho de parcela	30 m
Longitud de parcela	50 m
Área total del ensayo	1500 m <sup>2</sup>

*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 y segunda hoja de las plantas de la parcela experimental. La unidad experimental estuvo constituida por hoja 1 y hoja 2 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 y segunda 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 (Stover, 1980) modificada por Gauhl (Gauhl, 1989).

## **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 5 repeticiones (bloques) se evaluaron 7 tratamientos más un testigo.

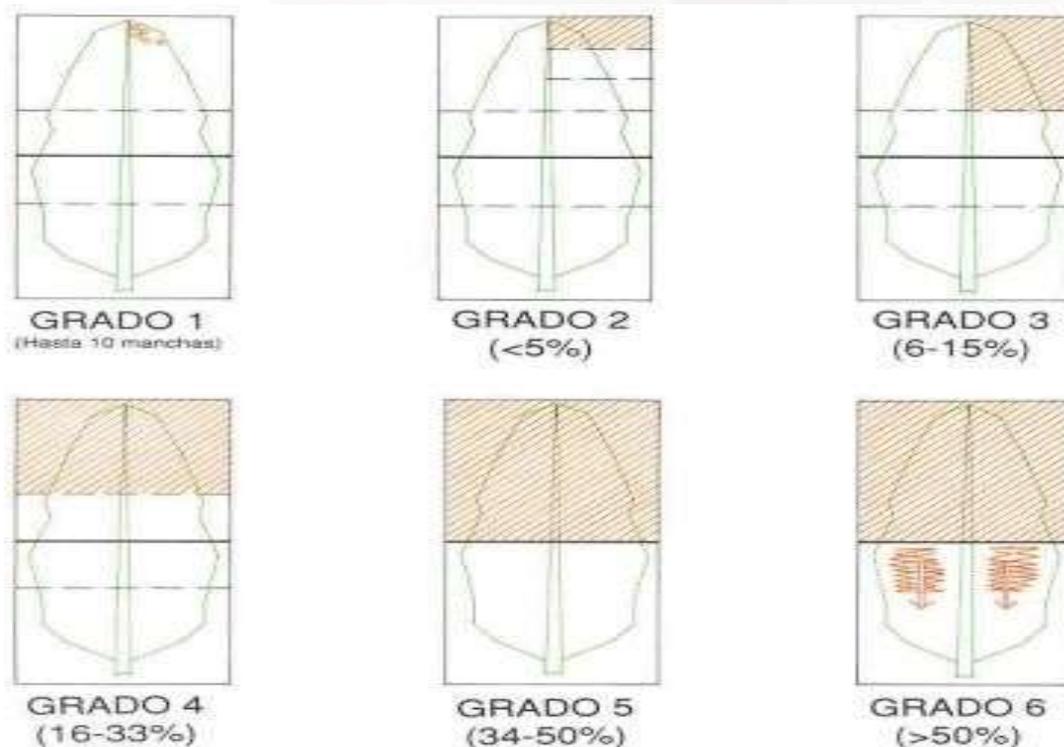
**3.3.1.1 Fase única.** El método utilizado fue el experimental el cual permitió comparar el efecto de los tratamientos en el biocontrol de la sigatoka negra. Para esto se sometió plantas de banano de 10 semanas de vida en una parcela experimental, para las fórmulas evaluadas, en cuyo contenido existieron 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.** Los registros de los datos de cada variable se llevaron a cabo semanalmente. Previo se realizó la aplicación de los tratamientos biológicos y químicos respectivamente. Se tomó datos durante 10 semanas. Los datos fueron registrados en la libreta de campo. Se consideró como área experimental a una extensión de 1500 m<sup>2</sup> distribuidos en 16 hileras y 9 columnas considerando una distancia de siembra de 3x3 m. La plantación de banano tiene 10 semanas de edad y forma parte de una parcela experimental de la empresa FUMIPALMA. S.A.

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

#### **Figura 3.**

Grados de severidad de la sigatoka negra de acuerdo a la escala de Stover modificada por Gauhl (1989).



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:

**Alive.** Es un producto a base de bacterias benéficas pertenecientes al género *Bacillus*, producen estimulación para el crecimiento de las plantas y la inducción de resistencia sistémica adquirida. Bacterias del género *Bacillus* solubilizan el fósforo del suelo, mejoran la fijación de nitrógeno y producen sideróforos que promueven su crecimiento a nivel radicular y de suelo. Estas bacterias benéficas mejoran la tolerancia al estrés en sus huéspedes vegetales al inducir la expresión de genes de respuesta al estrés, fitohormonas y metabolitos.

#### Tabla 4.

Composición del producto ALIVE

Bacillus subtilis	$8 \times 10^8$ UFC/ml
Bacillus amilolyquefaciens	$6 \times 10^8$ UFC/ml
Bacillus velezensis	$8 \times 10^8$ UFC/ml

*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 y alojarse 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 y desarrollo vegetal, debido a la producción de auxinas y reducción de 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 macro y micronutrientes como hierro, manganeso y magnesio que son vitales para el metabolismo de las plantas.

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

*Nota.* Información de la hoja técnica del producto

Reproducción de esporas en campo: 24 horas post aplicación

Composición: 100% de esporas activas

**LANZADOR.** Es un fungicida de acción protectante de amplio espectro en el control de enfermedades fungosas, al ser un producto de contacto no permite la entrada del patógeno, evitando la aparición de los primeros síntomas.

### Tabla 5.

Componentes y formulación del producto LANZADOR

Tipo de producto:	Fungicida Agrícola
Formulación:	Suspensión concentrada (SC)
Ingrediente activo:	Folpet
Concentración:	500 gramos por Litro
Categoría Toxicológica:	II Moderadamente Peligroso
Cultivos donde se puede aplicar:	Papa, tomate, Rosas y Banano
Microorganismos que controla:	Phytophthora, Alternaria, Botrytis y Mycosphaerella
Presentación:	500 ml, 1 l y 5 l

Grupo químico:	Ptalamidas
----------------	------------

*Nota.* Información de la hoja técnica del producto

**MANZATE (MANCOZEB).** Es un fungicida, perteneciente al grupo químico de los Dltiocarbamatos, de uso agrícola, tipo polvo mojable (WP) de categoría toxicológica III, que reacciona e inactiva los grupos sulfidrilos de aminoácidos y enzimas de las células de hongo, lo que provoca la interrupción del metabolismo de los lípidos, respiración y producción de ATP.

**Tabla 6.**

Componentes y formulación del producto MANZATE

Mancozeb	800 g/Kg
ETU	0.03 g/Kg
Ingredientes aditivos	c.s.p. 1 Kg

*Nota.* Información de la hoja técnica del producto

**S+COP.** Es un fungicida químico, de amplio espectro de acción preventiva a muchas enfermedades. Su modo de acción es multisitio sobre hongos fitopatógenos y presenta bajo riesgo al desarrollo de resistencias.

**Tabla 7.**

Componentes y formulación del producto S+COP

Azufre	500 g/L
Oxicloruro de cobre	79 g/L
Aditivos c.s.p.	1 L
Grupo químico:	Inorgánico
Código:	FRAC M02/ M01
Formulación:	Suspensión concentrada (SC)
Formulador:	Aris Industrial S.A.
Procedencia:	Perú

*Nota.* Información de la hoja técnica del producto

**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.

**Tabla 8.**

Componentes y formulación del producto MANZATE

PROPIEDAD	UNIDAD	MÉTODO	VALOR MINIMO	VALOR MÁXIMO
Apariencia		Visual	Claro y brillante	
Punto de inflamación	°F (°C)	ASTM D93	311(155)	
Viscosidad a 104 °F (40°C)	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D445		14.8
Residuos no azufrados	%	ASTM D483	92.0	

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

### 3.1 Procesamiento estadístico de la investigación

Los tratamientos analizados experimentalmente se describen a continuación:

#### 3.1.1 Tratamientos

En la Tabla 6 se observa la distribución de los tratamientos con su respectiva dosis aplicada en la parcela experimental.

**Tabla 9.**

Tratamientos y dosis aplicadas en la plantación de banano bajo estudio

NO.	TRATAMIENTOS	DOSIS
1	ALIVE	1 L/Ha
2	BANOLE	3.785 g/Ha
3	DINAMIC+ALIVE	1L + 1L/Ha
4	DINAMICS	1L/Ha
5	LANZADOR	1.5 L/Ha
6	MANZATE + OIL	1.5 kg/Ha
7	S+COP	1 L/Ha
8	TESTIGO	-

*Nota.* Esta tabla muestra la distribución de los tratamientos con sus respectivas dosis aplicadas a las plantas.

Los datos se valoraron mediante el análisis de varianza (ANOVA) y el test de Tukey, ambos considerando una probabilidad del error tipo I del 5%. Para este análisis se utilizó el software Infostat. El modelo de ANOVA se presenta en la Tabla 7.

**Tabla 10.**

Modelo de análisis de varianza del ensayo

Fuente de variación	Grados de libertad
Total (tr-1)	23
Tratamientos (t-1)	7
Repeticiones (r-1)	2
Error experimental (t-1) (r-1)	14

*Nota.* La tabla presenta el análisis de varianza. La fuente de variación y los respectivos grados de libertad del componente experimental del ensayo

## 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.

La prueba de Fisher al 5% (figura 5) se identificó tres rangos de significación estadística, el tratamiento T1 (Alive) obtuvo el menor AUDPC de 271.18, significativamente menor a los productos químicos y al aceite mineral que ocuparon rangos intermedios en comparación con el tratamiento T8 (T. absoluto) que presentó un AUDPC 579,79 siendo el valor más alto en este estudio.

#### Tabla 11.

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

TRATAMIENTO	% AREA AFECTADA HOJA 1
ALIVE	16,733
DINAMIC+ALIVE	18,400
S + COP	18,600
DINAMICS	19,400
BANOLE	19,933
MANZATE +BANOLE	25,067
LANZADOR	28,267
CONTROL	47,333

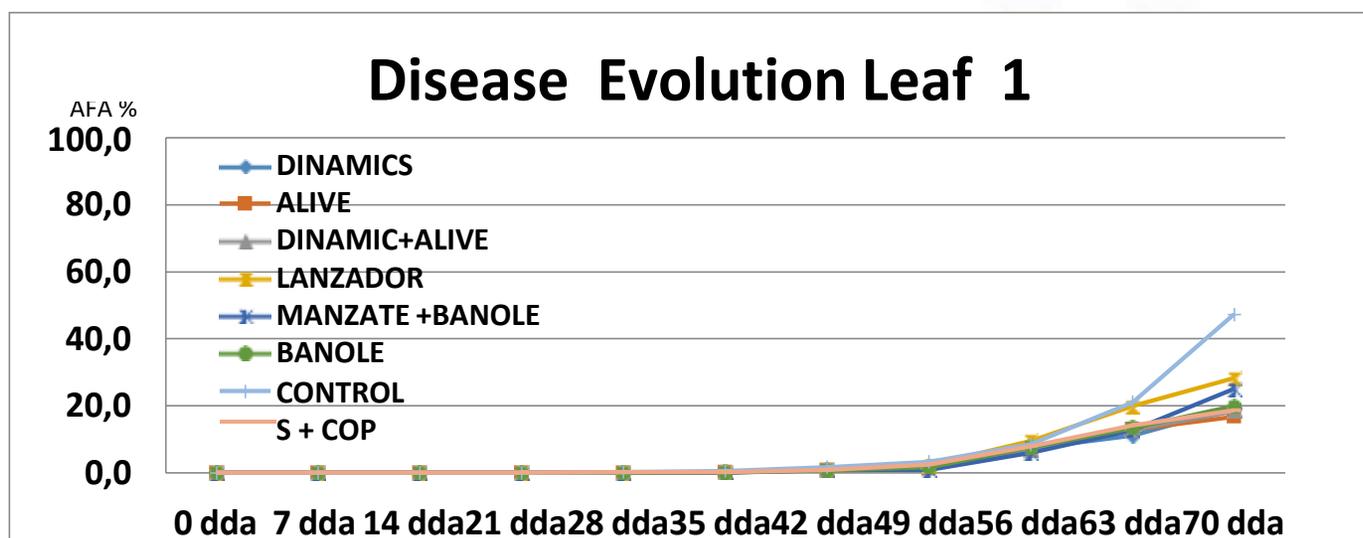
*Nota.* La tabla muestra el porcentaje área foliar afectada y el tratamiento que mejor inhibió el desarrollo de la enfermedad.

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 4.**

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



Nota: Curva de crecimiento de área foliar afectada.

**ALIVE:** Con un % AFA de 16.733, este tratamiento muestra un nivel relativamente bajo de afectación en las hojas.

**DINAMIC+ALIVE:** Con un % AFA de 18.400, este tratamiento también muestra una afectación moderada en las hojas, pero sigue siendo relativamente bajo en comparación con algunos otros tratamientos.

**LANZADOR:** Con un % AFA de 28.267, este tratamiento muestra una afectación notablemente alta en las hojas, lo que indica una eficacia limitada en la protección contra la enfermedad o el estrés.

**CONTROL:** Con un % AFA de 47.333, este tratamiento muestra la mayor afectación en las hojas, lo que indica una falta de protección contra la enfermedad o el estrés, lo que sugiere que este tratamiento no ofrece protección o tratamiento contra la enfermedad.

**Tabla 12.**

Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja1.

<u>TRATAMIENTO</u>	<u>AUDPC HOJA 1</u>
ALIVE	271,18
DINAMICS	283,08
DINAMIC+ALIVE	286,63
BANOLE	305,2
S + COP	312,76
MANZATE	320,69
+BANOLE	
LANZADOR	427,84
<u>CONTROL</u>	<u>579,79</u>

*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.

**ALIVE:** Este tratamiento tiene el menor valor de AUDPC en la HOJA 1, con un valor de 271.18. Esto indica que, en promedio, la enfermedad progresó menos en las plantas tratadas con ALIVE en comparación con otros tratamientos.

**DINAMICS:** Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 283.08. Aunque es más alto que ALIVE, indica que la enfermedad progresó menos en comparación con algunos otros tratamientos como CONTROL y LANZADOR.

**DINAMIC+ALIVE:** Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 286.63, lo que indica que la combinación de DINAMIC y ALIVE 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 305.2, lo que sugiere que la eficacia en el control de la enfermedad es inferior a la de los tratamientos anteriores.

**S + COP:** Con un valor de AUDPC de 312.76, este tratamiento muestra un progreso significativo de la enfermedad en comparación con los tratamientos mencionados anteriormente.

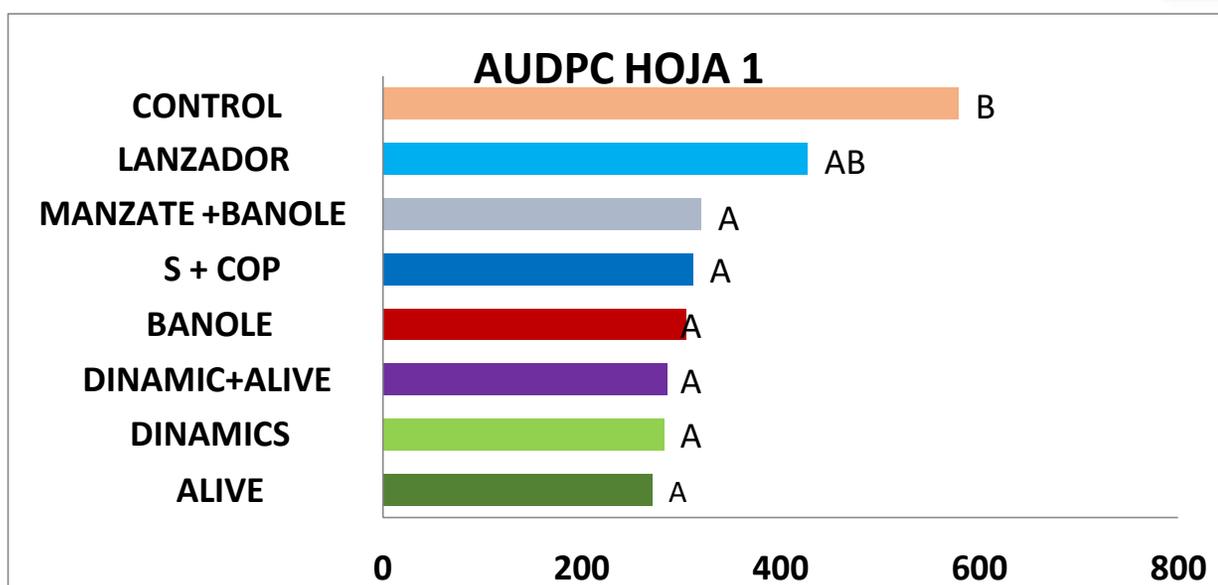
**MANZATE + BANOLE:** El AUDPC es de 320.69 para este tratamiento, lo que indica que la enfermedad ha progresado más en comparación con otros tratamientos en la lista.

**LANZADOR:** Este tratamiento muestra el segundo valor más alto de AUDPC en la lista, con un valor de 427.84, lo que sugiere que el progreso de la enfermedad es alto en las plantas tratadas con LANZADOR.

**CONTROL:** Este tratamiento tiene el valor más alto de AUDPC en la lista, con un valor de 579.79. Esto indica que las plantas control tienen un progreso significativo de la enfermedad en comparación con todos los otros tratamientos.

**Figura 5.**

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de 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.

**ALIVE:** Tiene un valor de AUDPC de 271.18, representado por la letra "A". Esto indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre ALIVE y los otros tratamientos a excepción LANZADOR y el CONTROL

**LANZADOR:** Tiene un valor de AUDPC de 427.84 y está representado por la letra "AB". Esto indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre LANZADOR y los tratamientos con la letra "A" y el CONTROL.

**CONTROL:** Con un valor de AUDPC de 579.79 y representado por la letra "B", muestra la menor efectividad en el control de la enfermedad en comparación con los otros tratamientos.

**Tabla 13.**

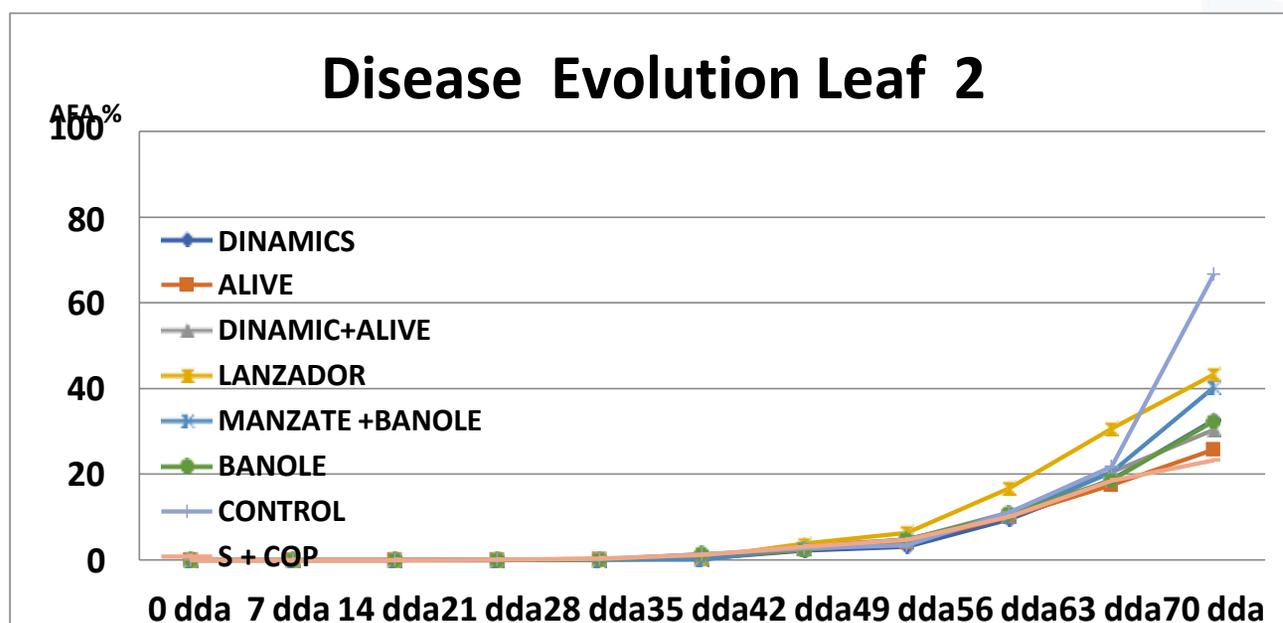
Porcentajes de inhibición de los tratamientos, de acuerdo al área foliar afectada en la hoja 2.

TRATAMIENTO	% AREA AFECTADA HOJA 2
S + COP	23,20
ALIVE	25,73
DINAMIC+ALIVE	30,33
BANOLE	32,33
DINAMICS	32,67
MANZATE	
+BANOLE	40,33
LANZADOR	43,33
CONTROL	66,67

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

**Figura 6.**

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

**S+COP:** Con un % AFA de 23.20, este tratamiento muestra un nivel relativamente bajo de afectación en las hojas.

**ALIVE:** Con un % AFA de 25.73, este tratamiento también muestra una afectación moderada en las hojas, pero sigue siendo relativamente bajo en comparación con algunos otros tratamientos.

**MANZATE + BANOLE:** Con un % AFA de 28.267, este tratamiento muestra una afectación notablemente alta en las hojas, lo que indica una eficacia limitada en la protección contra la enfermedad o el estrés.

**LANZADOR:** Con un % AFA de 28.267, este tratamiento muestra una afectación notablemente alta en las hojas, lo que indica una eficacia limitada en la protección contra la enfermedad o el estrés.

**CONTROL:** Con un % AFA de 66.67, este tratamiento muestra la mayor afectación en las hojas, lo que indica una falta de protección contra la enfermedad o el estrés, lo que sugiere que este tratamiento no ofrece protección o tratamiento contra la enfermedad.

**Tabla 14.**

Porcentajes del progreso de la enfermedad en la hoja2.

TRATAMIENTO	AUDPC HOJA 2
S + COP	445,29
ALIVE	450,43
DINAMICS	514,41
DINAMIC+ALIVE	528,27
BANOLE	539,65
MANZATE +BANOLE	621,83
LANZADOR	755,58
CONTROL	908,23

*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 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.

**S + COP:** Este tratamiento tiene el menor valor de AUDPC en la HOJA 2, con un valor de 445,29. Esto indica que, la enfermedad progresó menos en las plantas tratadas con S+COP en comparación con otros tratamientos.

**ALIVE:** Con un valor de AUDPC de 450,43, este tratamiento también muestra una afectación moderada en las hojas, pero sigue siendo relativamente bajo en comparación con algunos otros tratamientos.

**DINAMICS:** Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 514,41. Aunque es más alto que ALIVE, indica que la enfermedad progresó menos en comparación con los demás tratamientos.

**DINAMIC+ALIVE:** Este tratamiento tiene un valor de AUDPC de 528,27, lo que indica que la combinación de DINAMIC + ALIVE resultó en un nivel moderado-alto de control de la enfermedad en comparación con los tratamientos Banole y Banole + Manzate.

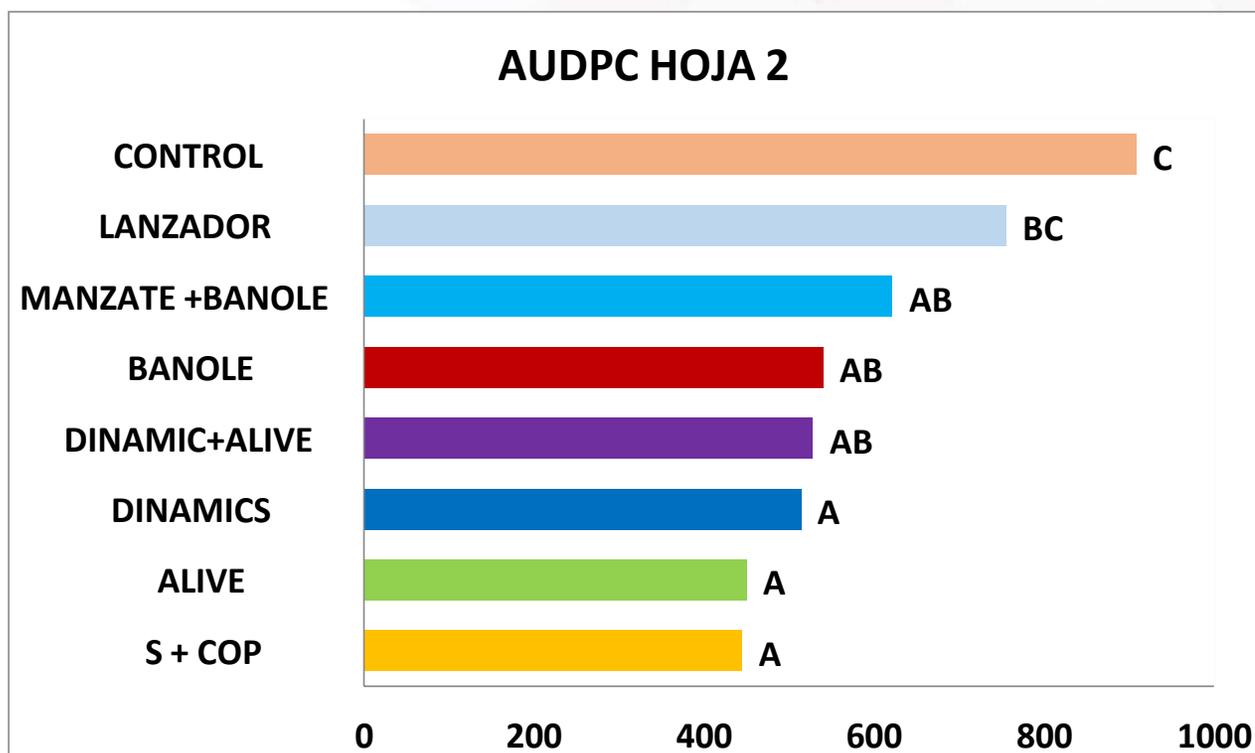
**BANOLE:** Con un valor de AUDPC de 539,65, este tratamiento muestra un progreso significativo de la enfermedad en comparación con los tratamientos mencionados anteriormente.

**MANZATE + BANOLE:** El AUDPC es de 621.83, para este tratamiento, lo que indica que la enfermedad ha progresado más en comparación con otros tratamientos en la lista.

**LANZADOR:** Este tratamiento muestra el segundo valor más alto de AUDPC en la lista, con un valor de 755,58, lo que sugiere que el progreso de la enfermedad es alto en las plantas tratadas con LANZADOR.

**Figura 7.**

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 S + COP con valores de AUDPC de 445.29, ALIVE con 450.43, Y DINAMICS con un valor de AUDPC de 514.41, son estadísticamente semejantes entre ellos, ya que se les designa con la letra "A".

DINAMIC+ALIVE con un valor de AUDPC 528.27, BANOLE con un valor de AUDPC 539.65, y MANZATE + BANOLE con un valor de AUDPC de 621.83, son estadísticamente semejantes entre ellos, ya que se les designa con la letra "AB", pero si son estadísticamente diferentes, ya que tiene un progreso de enfermedad más pronunciado que los tratamientos que se les designa la letra "A".

LANZADOR: Tiene un valor de AUDPC más alto (755.58) y se designa con la letra "BC", lo que indica que es estadísticamente diferente de los tratamientos con las etiquetas "A" y "AB".

## 4.2 Interpretación de resultados

La discusión de los resultados revela que los tratamientos que incluyen microorganismos como *Bacillus* y *Trichoderma* muestran una influencia significativa en el control de la enfermedad de Sigatoka negra en cultivos de banano, como se refleja en los valores de AUDPC en las hojas 1 y 2. Según Ticona (2021), afirmar que el uso de géneros de microorganismos biocontroladores, *Bacillus* y *Trichoderma spp.* Son estrategias efectivas para inhibir y reducir la incidencia de la Sigatoka negra en cultivos de banano. Mientras *Bacillus subtilis* se destaca por su producción de metabolitos secundarios siendo un inhibidor de esporas, *Trichoderma spp.* tiene un efecto antagonista sobre hongos fitopatógenos.

Empezando por ALIVE, que contiene *Bacillus*, su AUDPC es el más bajo (271.18), indicando una efectividad notable en la reducción del progreso de la enfermedad. Esta observación se ve respaldada por (García et al., 2022), que ha destacado la eficacia de las especies de *Bacillus*, como *Bacillus subtilis*, en el control de diversos patógenos, incluyendo aquellos asociados con la Sigatoka negra, debido a la producción de metabolitos, especialmente los compuestos lipopéptidos que han demostrado una alta capacidad de inhibición de las esporas del hongo causante de la enfermedad.

En comparación con los tratamientos que contienen *Bacillus*, aquellos que incorporan *Trichoderma* muestran resultados ligeramente menos efectivos, como lo demuestra el valor de AUDPC de DINAMICS en la hoja 2 (514.41). Sin embargo, este valor sigue siendo significativamente bajo y comparable al de ALIVE, lo que sugiere que *Trichoderma* también desempeña un papel importante en la reducción del progreso de la enfermedad. *Trichoderma spp.*, conocido por sus habilidades parasitarias contra hongos fitopatógenos, compite directamente con el patógeno por espacio y nutrientes, lo que resulta en una disminución significativa de su incidencia en los cultivos.

Además, la combinación de *Bacillus* y *Trichoderma* en el tratamiento DINAMIC+ALIVE (AUDPC 528.27) muestra resultados aún prometedores, aunque ligeramente menos efectivos que los tratamientos individuales. Esto indica que la combinación de diferentes microorganismos puede ofrecer beneficios complementarios en el control de enfermedades en cultivos agrícolas. Estos resultados difieren con los encontrados por Castillo, (2022) quien en un trabajo similar reveló diferencias significativas a favor del tratamiento químicos (Trifloxystrobin + Tebuconazole en dosis de 150 g/ha) exhibió un

control más efectivo sobre la Sigatoka Negra con un 25.31%, seguido por el tratamiento de Trichoderma con un 25.52% y *Trichoderma sp* + *Bacillus subtilis* con un 30.25%, mientras que el Testigo registró un 42.37%.

Por otro lado, el tratamiento LANZADOR y, especialmente, el CONTROL, muestran los valores de AUDPC más altos (755.58 y 908.23 respectivamente), lo que indica una menor efectividad en el control de la enfermedad. Esto subraya la importancia de los tratamientos biológicos como ALIVE y DINAMICS en comparación con los tratamientos convencionales. En conclusión, tanto Bacillus como Trichoderma ofrecen estrategias efectivas para controlar la Sigatoka negra en cultivos de banano. La combinación de estos microorganismos puede ser una estrategia aún más prometedora para mejorar la resistencia de los cultivos contra esta enfermedad devastadora, contribuyendo así a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de la agricultura.

## CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

En función de los resultados encontrados y el contraste de la información analizada se presentan las siguientes conclusiones:

- Existe una variabilidad significativa en la efectividad de los diferentes tratamientos para controlar la sigatoka en los tratamientos evaluados. A pesar de que algunos de ellos mostraron un mejor desempeño en ciertas semanas, la inconsistencia en los resultados a lo largo del tiempo sugiere la influencia de múltiples variables en la respuesta de la enfermedad a los diferentes métodos de control, las cuales podrían estar influenciadas por factores climáticos, las características de resistencia y sensibilidad a la enfermedad a partir del genoma de las plantas del ensayo, las características específicas de los tratamientos empleados y la dinámica propia de la enfermedad en el entorno del cultivo de banano.
- Los tratamientos T1 (Alive), T3 (DINAMIC+ALIVE) y T4 (Dynamics) 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.
- Los géneros *Bacillus* y *Trichoderma* representan alternativas como agentes biocontroladores en la lucha contra la Sigatoka negra en cultivos de banano. Los metabolitos secundarios de *B. subtilis*, muestran una notable capacidad para inhibir la germinación de esporas del patógeno, mientras que *Trichoderma sp.*, mediante sus diversos mecanismos de ataque, actúa eficientemente como parasitario de los hongos fitopatógenos. Ambos microorganismos pueden ofrecer estrategias efectivas para reducir el impacto de la enfermedad en las plantaciones de banano.

### 5.2 Recomendaciones

A partir de las conclusiones se realizan las siguientes recomendaciones:

- Llevar a cabo estudios más exhaustivos que consideren variables adicionales, como las condiciones climáticas específicas durante cada semana de evaluación, la resistencia de las cepas de la enfermedad a los tratamientos utilizados y la interacción entre diferentes métodos de control.

- Evaluar a la sostenibilidad de los tratamientos T3 y T4 en prácticas de manejo fitosanitario mediante investigaciones adicionales bajo diversas condiciones agrícolas y ambientales.
- Continuar la investigación en la implementación práctica de *B. subtilis* y *Trichoderma sp* como parte integral de estrategias de manejo integrado enfermedades en el cultivo de banano.

## Bibliografía

- Álvarez, E., Pantoja, A., Gañan, L., & Ceballos, G. (2013). La Sigatoka negra en plátano y banano. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, 1-6.  
<https://www.fao.org/3/as089s/as089s.pdf>
- Barriga Medina, N., Sánchez Garnica, A., León-Reyes, A. (2022). V Simposio En Fitopatología, Control Biológico E Interacciones Planta-Patógeno. *Archivos Académicos USFQ*, 40, 79.  
<https://doi.org/10.18272/archivosacademicos.vi40.2724>
- Becker, P., Esker, P., & Umaña, G. (2021). Incorporation of microorganisms to reduce chemical fungicide usage in black sigatoka control programs in Costa Rica by use of biological fungicides. *Crop Protection*, 146(December 2020).  
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105657>
- Bhairav Prasad, Deepak Sharma, Pankaj Kumar, R. C. D. (2023). Potencial de biocontrol de *Bacillus* spp . para sistemas agrícolas resilientes y sostenibles. *Patología Vegetal Fisiológica y Molecular*, 128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102173>
- Bolaños, M., Vasco, A., Mercado, A., Caicedo, J., Castro, S., & Morales, D. (2020). Comportamiento agroproductivo de 31 clones de Cacao Nacional (*Theobroma cacao* L). Con la aplicación de un biocontrolador para moniliasis (*Moniliophthora roreri*). *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 10(2), 1-8.  
[http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/investigacion\\_y\\_saberes/article/view/104/41](http://revistasdigitales.utelvt.edu.ec/revista/index.php/investigacion_y_saberes/article/view/104/41)
- Borja, J. (2016). La producción de banano. *Siembra*, 3(1), 7-10.  
<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/siembra/v3n1/2477-8850-siembra-03-01-0002.pdf>
- Cadena M. F., Ticona, C., Mamani, E. (2021). Manejo de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) del banano (*Musa acuminata*) con la aplicación de la *Trichoderma harziarum*. *Rev. Apthapi*, 7(3), 2242-2246.  
<https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/111/102>
- Campo, R., Vélez, S., & Barrera, J. (2020). La sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, en los cultivos de plátano y banano. Una revisión. *Fitopatología Colombiana*, 44(2), 61-66.  
[https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Campo-Arana/publication/350671395\\_LA\\_SIGATOKA\\_NEGRA\\_Mycosphaerella\\_fijiensis\\_Morelet\\_EN\\_LOS\\_CULTIVOS\\_DE\\_PLATANO\\_Y\\_BANANO\\_UNA\\_REVISION/links/606ce69d299bf13f5d5f8dd8/LA-SIGATOKA-NEGRA-Mycosphaerella-fijiensis-Mo](https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Campo-Arana/publication/350671395_LA_SIGATOKA_NEGRA_Mycosphaerella_fijiensis_Morelet_EN_LOS_CULTIVOS_DE_PLATANO_Y_BANANO_UNA_REVISION/links/606ce69d299bf13f5d5f8dd8/LA-SIGATOKA-NEGRA-Mycosphaerella-fijiensis-Mo)
- Casas Ovalle D., Hernández Guevara B., Pachón González E., y M. M. E. (2021). Eficacia del coadyuvante orgánico Ecotensor SYS, en el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella*

- fijiensis) en cultivo de plátano (*Musa AAB simmonds*). *Rev Sist Prod Agroecol.*, 12(1), 58-75. <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/738/797>
- 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>
- Castillo-Arévalo, T., & Jiménez-Martínez, E. (2020). Incidencia y severidad de enfermedades asociadas al cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en Rivas, Nicaragua. *La Calera*, 20(35), 1-22. <https://doi.org/10.5377/calera.v20i35.10319>
- Castillo Arévalo T. Jiménez Martínez, E. (2020). Protección de plantas. *Rev. La Calera*, 20(35), 132-139. <https://camjol.info/index.php/CALERA/article/view/10319/12096>
- Cedeño, G., Suarez, C., Vera, D., Fadda, C., Jarvis, D., & de Santis, P. (2017). Detección temprana de resistencia a *Mycosphaerella fijiensis* en genotipos locales de Musáceas en Ecuador. *Scientia Agropecuaria* 8 (1), 29 – 42 .
- Cedeño-Zambrano, J. R., Díaz-Barrios, E. J., Conde-López, E. de J., Cervantes-Álava, A. R., Avellán-Vásquez, L. E., Zambrano-Mendoza, M. E., Tobar-Galvéz, J. P., Estévez-Chica, S. T., & 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), 4-11. <https://doi.org/10.22209/rt.v44n1a01>
- Chávez Arteaga, K. T., Guato Molina, J. J., Rodríguez Acosta, J. L., Cedeño Moreira, Á. V., Romero Meza, R. F., & Canchignia Martínez, H. F. (2020). Rizobacterias con potencial antagonista in vitro a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Ciencia y Tecnología*, 13(2), 10-17. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.387>
- Cruz, M., Acosta, M., Roque, B., Pichardo, T., Castro, R., & Alvarado, Y. (2016). Diversidad de cepas bacterianas de la filosfera de *Musa* spp. con actividad antifúngica frente a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Biotecnología Vegetal* Vol. 16, No. 1, 53 - 61.
- Cuellar-Gaviria, T. Z., González-Jaramillo, L. M., & Villegas-Escobar, V. (2021). Role of *Bacillus tequilensis* EA-CB0015 cells and lipopeptides in the biological control of black Sigatoka disease. *Biological Control*, 155(June 2020). <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104523>
- Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., Roibas, L., Skully, D., & Arguello, J., Sotomayor, I., A., B. (2015). Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). In *FAO* (Organizaci).

- <https://www.fao.org/3/i5116s/i5116s.pdf>
- Falconí Saá, C. (2014). Control biológico de enfermedades de plantas en Ecuador. In *Control biológico de enfermedades de plantas en América latina y el Caribe* (p. 402 p.).
- <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1012615/1/2014LV01.pdf>
- García-Giraldo, G., Posada, L. F., Pérez-Jaramillo, J. E., Carrión, V. J., Raaijmakers, J. M., & Villegas-Escobar, V. (2022). *Bacillus subtilis* EA-CB0575 inoculation of micropropagated banana plants suppresses black Sigatoka and induces changes in the root microbiome. *Plant and Soil*, 479(1-2), 513-527. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05540-z>
- 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*, 14(5), 591-596. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i4.6623>
- García Sánchez. H., Jaramillo Aguiar. E., H. R. S. (2022). Fungicidas a base de azufre y *Bacillus* sp. en manejo integrado de sigatoka negra. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(3), 153-158. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/573/546/>
- Gauhl, F. (1989). Epidemiología y ecología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en plátano (*Musa* sp.) en Costa Rica [University of Göttingen - Georg-August-Universität Göttingen]. In *Tesis doctoral*. [https://dita.net/files/5ffdc14f1f74\\_Anexo 4.2-1\\_Instructivo para la evaluaci%F3n de Incidencia y Severidad de la Sigatoka negra.pdf](https://dita.net/files/5ffdc14f1f74_Anexo 4.2-1_Instructivo para la evaluaci%F3n de Incidencia y Severidad de la Sigatoka negra.pdf)
- González, L. G. Quevedo G. J., García B. R. (2018). Alternativas orgánicas para el control de monilia (*Moniliophthora roreri*, cif. y par) en el cultivo de cacao. *Agroecosistemas-Revista Para La Transformación Agraria Sostenible*, 6(2), 56-63.
- [file:///C:/Users/Hp/Downloads/document \(36\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/document (36).pdf)
- Gutierrez-Monsalve, J. A., Mosquera, S., González-Jaramillo, L. M., Mira, J. J., & Villegas-Escobar, V. (2015). Effective control of black Sigatoka disease using a microbial fungicide based on *Bacillus subtilis* EA-CB0015 culture. *Biological Control*, 87(April), 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.04.012>
- Guzmán, M., Orozco-Santos, M., & Pérez, L. (2013). Las Enfermedades Sigatoka De Las Hojas Del Banano: Dispersión, Impacto Y Evolución De Las Estrategias De Manejo En América Latina Y El Caribe. *XX Reunião Internacional Da Associação Para a Cooperação Em Pesquisa e Desenvolvimento Integral Das Musáceas (Bananas e Plátanos)*, September, 2. [https://www.researchgate.net/profile/Mauricio\\_Guzman3/publication/263199254\\_Las\\_enfermedades\\_de\\_las\\_manchas\\_de\\_las\\_hojas\\_del\\_banano\\_dispersin\\_impacto\\_y\\_evolucion\\_de\\_las\\_estrategias\\_de\\_manejo\\_en\\_Amrica\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe/links/0f31753a222b846f63000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mauricio_Guzman3/publication/263199254_Las_enfermedades_de_las_manchas_de_las_hojas_del_banano_dispersin_impacto_y_evolucion_de_las_estrategias_de_manejo_en_Amrica_Latina_y_el_Caribe/links/0f31753a222b846f63000000.pdf)
- Hernández-Mansilla, A. A., Sorí-Gómez, R., Valentín-Pérez, Y., López-Mayea, A., Córdova-

- García, O., & Benedico-Rodríguez, O. (2016). Sigatoka negra ( *Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y seguridad alimentaria. Escenarios bioclimáticos en bananos bajo efecto del cambio climático en Ciego de Ávila, Cuba. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 59-70. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2016.040200059>
- Jaramillo, E., Barrezueta, S., Luna, E., & Castillo, S. (2017). Efecto biofungicida del gel de Aloe vera sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musa (AAA). *Scientia Agropecuaria* 8 (3), 273 - 278.
- Llerena Hidalgo, Á., & Castaño Oliva, 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. <https://doi.org/10.23878/alternativas.v20i1.245>
- Manobanda M., Gabriel J., Ayón F., Castro C., Vera M., Narváez W., Morán J., C. A. (2019). *Nociones de protección vegetal* (Ortega, J. G. (ed.); Grupo COMP). Ediciones Grupo Compás. Grupo de capacitación e investigación pedagógica. [https://www.researchgate.net/profile/Julio-Gabriel/publication/331733437\\_PROTECCION\\_VEGETAL\\_isto/links/5c8a418892851c1df9407f97/PROTECCION-VEGETAL-isto.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Julio-Gabriel/publication/331733437_PROTECCION_VEGETAL_isto/links/5c8a418892851c1df9407f97/PROTECCION-VEGETAL-isto.pdf)
- 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 Management of Black Sigatoka ( *Mycosphaerella fijiensis* Morelet ) in banana crops , alternating protective and sys. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 3210-3228. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-050>
- Méndez-Úbeda, J. M., Flores Hernández, M. S., & Páramo-Aguilera, L. . (2018). Aislamiento e identificación de *Bacillus subtilis* y evaluación del antagonismo in vitro frente hongos fitopatógenos. *Nexo Revista Científica*, 30(2), 96-110. <https://doi.org/10.5377/nexo.v30i2.5530>
- Miljaković, D., Marinković, J., & Balešević-Tubić, S. (2020). The significance of bacillus spp. In disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. *Microorganisms*, 8(7), 1-19. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Patrick Becker., Paul Esker., G. U. (2023). Expresión de genes relacionados con la defensa en respuesta a la aplicación de agentes de control biológico en banano. *Control Biológico*, 186, 7823-7830. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105317>.
- Pedraza, L. A., López, C. E., & Uribe-Vélez, D. (2020). Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 112-125. <https://doi.org/10.15446/abc.v25n1.75045>

- Reyes Tena, A., Rincón Enríquez, G., Evangelista Martínez, Z., & Quiñones Aguilar, E. (2015). Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas. *Revista Digital Universitaria*, 16(11), 1-15. <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num11/art92/>
- Rodríguez, L. L., Rodríguez, L. L., Cruz-Martín, M., Acosta-Suárez, M., Pichardo, T., Bermúdez-Caraballoso, I., & Alvarado-Capó, Y. (2017). Antagonismo in vitro de cepas de *Bacillus* spp. frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *Biotecnología Vegetal*, 17(4), 229-236. <https://revista.cnic.cu/index.php/RevBiol/article/view/4090/3476>
- Rojas B. M., Sánchez C. D., Rosales P. K., Lugo M. D. (2017). Antagonismo de *Bacillus* frente a hongos fitopatógenos de cultivos hortícolas. *Revista Protección Vegetal*, 32(2), 1-9. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522017000200005&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522017000200005&script=sci_arttext&lng=pt)
- Sánchez, F. (2016). Importancia de los lipopéptidos de *Bacillus subtilis* en el control biológico de enfermedades en cultivos de gran valor económico. *Bionatura • Volumen 1 / Número 3*, 135-137.
- Stover, R. H. (1980). Sigatoka Leaf Spots of Bananas and plantains. In *Plant Disease* (Vol. 64, Issue 8, p. 750). <https://doi.org/10.1094/pd-64-750>
- Valenzuela Ruiz, V., Gálvez Gamboa, G. T., Villa Rodríguez, E. D., Parra Cota, F. I., Santoyo, G., & De los Santos Villalobos, S. (2020). Lipopéptidos producidos por agentes de control biológico del género *Bacillus*: revisión de herramientas analíticas utilizadas para su estudio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(2), 419-432. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.2191>
- Vásquez C. W., Racines O. M., Moncayo P., Viera W., Seraquive, M. (2019). Calidad del fruto y pérdidas poscosecha de banano orgánico (*Musa acuminata*) en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 10(4), 57-66. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.25085/rsea.770302>
- Villarreal D. M., Villa R. E., Cira Ch. L., Estrada A. M., Parra C. F., D. los S. V. S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 95-130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>
- Zhiminaicela Cabrera, J., Quevedo Guerrero, J., García Batista, R. (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. <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/327>
- Zou, J., Jiang, H., Cheng, H., Fang, J., & Huang, G. (2018). Strategies for screening, purification and characterization of bacteriocins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117(2017), 781-789. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.233>

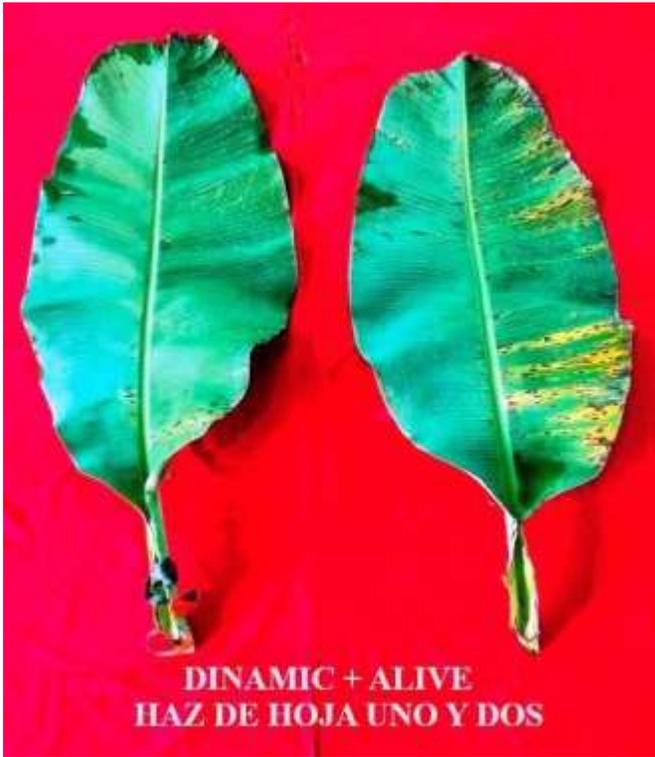
## Anexos

**Anexo 1.** El haz de las hojas de banano con los estadios principales de la Sigatoka negra

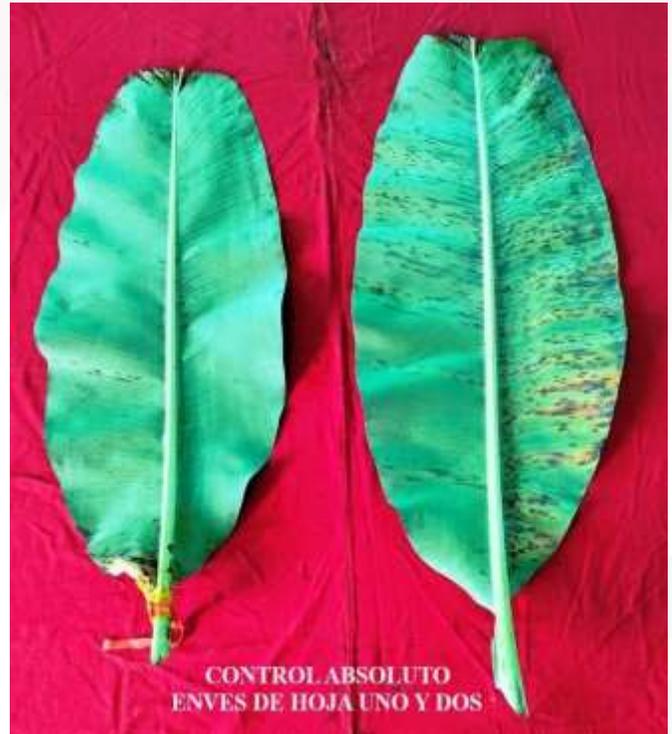
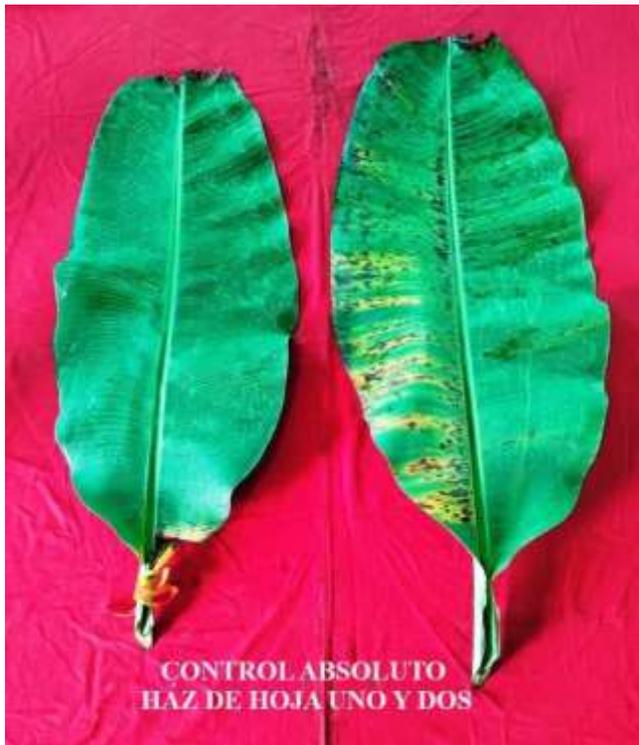


**Anexo 2.** El envés de las hojas de banano con los estadios principales de la Sigatoka negra











**Anexo 3.** Las manchas típicas de la enfermedad de la Sigatoka negra







**Anexo 4.** En la zona experimental con la respectiva identificación del ensayo





**Anexo 5.** Los envases con los productos bajo estudio en la zona experimental



**Anexo 6.** Exhibiendo los productos utilizados en la investigación en la zona de estudio



**Anexo 7.** Preparación de las soluciones a aplicarse en las parcelas experimentales



**Anexo 8.** Preparando los insumos utilizados en el ensayo



# UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

*¡Evolución académica!*

@UNEMIEcuador

