



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN PRODUCCIÓN VEGETAL

EVALUACIÓN DE EXTRACTOS BOTÁNICOS MEDIANTE TÉCNICA DE HOJA  
SIMPLE PARA CONTROL DE SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet)  
EN BANANO

Ing. Agr. Marcos Alcides Sánchez Valdivieso

Artículos profesionales de alto nivel

TUTOR: Ing. Agr. Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, PhD

MACHALA  
2022

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar la presente investigación a todas y cada una de las personas que me han acompañado a lo largo del tiempo que duró mi maestría ya que todos aportaron con un granito de arena para la culminación de la misma.

A Dios

A mi amada Karem Lizeth

A mis queridos hijos Marcos Emilio y Doménica Sophia

## **AGRADECIMIENTO**

- A mi familia por su apoyo, paciencia e incondicionalidad, durante el curso de la maestría.
- A los docentes de la maestría, por formar parte de este proceso.
- A mis compañeros de aula por su ayuda brindada.
- A la Universidad Técnica de Machala.
- A la Dra. Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, por brindarme su apoyo, pulir mis conocimientos, por su guía, orientación y su dedicación en su labor como tutora.

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Por medio de la presente, yo, Marcos Alcides Sánchez Valdivieso con C.C 0102579927 declaro ante el Comité Académico de la Maestría de Agronomía, de la Universidad Técnica de Machala, que el trabajo de titulación titulado "EVALUACIÓN DE EXTRACTOS BOTÁNICOS MEDIANTE TÉCNICA DE HOJA SIMPLE PARA CONTROL DE SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) EN BANANO"; de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona al no ser referenciado debidamente en el texto, parte de ella o en su totalidad no ha sido aceptada para el otorgamiento de cualquier otro diploma de una institución nacional o extranjera.

MARCOS ALCIDES SÁNCHEZ VALDIVIESO

C.C. 0102579927

Machala, 2022/01/24

## REPORTE DE SIMILITUD DE TURNITIN

Tesis\_Marcos\_Sánchez

---

### INFORME DE ORIGINALIDAD

---

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

### FUENTES PRIMARIAS

---

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta, con C.C. 175.918.734-5, docente-investigadora de la Universidad Técnica de Manabí, adscrita al Instituto de Investigación, Facultades de Ciencias Zootécnicas e Ingeniería Agronómica y de la Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Botánica, tutora del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DE EXTRACTOS BOTÁNICOS MEDIANTE TÉCNICA DE HOJA SIMPLE PARA CONTROL DE SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) EN BANANO", del autor Marcos Alcides Sánchez Valdivieso, en opción al título de Magister en Agronomía, Mención Producción Vegetal, certifico que su tesis ha sido revisada, enmarcada en los procedimientos científicos, técnicos, metodológicos y administrativos establecidos por el Centro de Posgrado de la UTMACH, razón por la cual doy fe de los méritos suficientes para que sea presentada a evaluación.

ADRIANA BEATRIZ SÁNCHEZ URDANETA, PhD.

C.C. 175.918.734-5

Universidad Técnica de Manabí  
Instituto de Investigación  
Facultades de Ciencias Zootécnicas e Ingeniería Agronómica  
Manabí, Ecuador

Universidad del Zulia  
Facultad de Agronomía  
Departamento de Botánica  
Maracaibo, Venezuela

Machala, 2022/01/24

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Marcos Alcides Sánchez Valdivieso con C.C. 0102579927, autor del trabajo de titulación “EVALUACIÓN DE EXTRACTOS BOTÁNICOS MEDIANTE TÉCNICA DE HOJA SIMPLE PARA CONTROL DE SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) EN BANANO”, en opción al título de Magister en Agronomía, Mención Producción Vegetal, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
  - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia *Creative Commons Attribution-NoCommercial* – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
  - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.

MARCOS ALCIDES SÁNCHEZ VALDIVIESO

C.C. 0102579927

Machala, 2022/01/24

## CERTIFICACIÓN DE PUBLICACIÓN

# 13

Fecha de presentación: enero, 2021

Fecha de aceptación: marzo, 2021

Fecha de publicación: abril, 2021

### CONTROL DE SIGATOKA NEGRA EN BANANO CON FUNGICIDAS ORGÁNICOS EN ÉPOCA DE LLUVIA

### THE CONTROL OF BLACK SIGATOKA IN BANANA WITH ORGANIC FUNGICIDES IN THE RAINY SEASON

Marcos Alcides Sánchez Valdivieso<sup>1</sup>

E-mail: marcosagrsanchez@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5430-4139>

Adriana Beatriz Sánchez Urdaneta<sup>2</sup>

E-mail: usanchez.luz@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3108-0296>

Abrahan Rodolfo Cervantes Álava<sup>1</sup>

E-mail: acervantes@utmachala.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6223-8661>

Álvaro Francisco Narváez Orellana<sup>1</sup>

E-mail: narvaezalv@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3724-8141>

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Sánchez Valdivieso, M.A, Sánchez Urdaneta, A.B., Cervantes Álava, A.R., & Narváez Orellana, A.F. (2021). Control de sigatoka negra en banano con fungicidas orgánicos en época de lluvia. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 108-113.

#### RESUMEN

El banano (*Musa* sp.) es un fruto tropical con alto consumo mundial por su calidad, beneficios nutricionales y vida en anaquel. Sus hojas son afectadas por Sigatoka negra (SN, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet), disminuyendo fotosíntesis y rendimiento. Se evaluó la aplicación de fungicidas orgánicos sobre la severidad de Sigatoka negra en el cultivo de banano. El ensayo se realizó en Fumipalma, S.A., provincia del Guayas, Ecuador. Se utilizaron plantas del cv. Williams, sembradas a 3m x 2,5m (1333 plantas•ha<sup>-1</sup>). Las aplicaciones se iniciaron en plantas con 12-14 hojas, en las hojas 1 (H1) y 2 (H2), en la parte derecha de la nervadura central (metodología single leaf test; SLT). Se utilizó un diseño de experimentos en bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Se evaluó la evolución de la enfermedad (%), Fumipalma S.A.) hasta 35 días después de la aplicación, área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) en H1 y H2. La evolución de la enfermedad en H1 en SLT, estuvo entre 16,60-50,00%; la menor la presentó Progranac cinnacar y el testigo con el mayor valor. El índice de severidad (AUDPC) presentó diferencias estadísticas con valores entre 217,4-556,1. El área afectada estuvo entre 27,50-56,25%. El AUDPC presentó diferencias estadísticas significativas, el testigo fue más afectado. La aplicación de fungicidas orgánicos genera control sobre SN, el porcentaje de área afectada y el índice de severidad de la enfermedad en el testigo fue mayor. En H2 la severidad de la enfermedad fue mayor que en H1.

#### Palabras clave:

*Mycosphaerella fijiensis*, manejo, single leaf test, severidad, control.

#### ABSTRACT

Banana (*Musa* sp.) is a tropical fruit with high worldwide consumption due to its quality, nutritional benefits and shelf life. Its leaves are affected by Black Sigatoka (BS, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet), decreasing photosynthesis and yield. The application of organic fungicides was evaluated on the severity of Black Sigatoka in the banana crop. The trial was carried out in Fumipalma, S.A., provincia del Guayas, Ecuador, with Plants of cv. Williams, sown at 3m x 2.5m (1333 plants•ha<sup>-1</sup>). The applications were started in plants with 12-14 leaves, in leaves 1 (L1) and 2 (L2), in the right part of the midrib (single leaf test methodology; SLT). A randomized complete block design of experiments with six treatments and four replications was used. The evolution of the disease (%), Fumipalma S.A.) was evaluated up to 35 days after application, area under the curve of the progress of the disease (AUDPC) in L1 and L2. The disease progression of L1 in TLS was between 16.60-50.00%; the lowest was presented by Progranac cinnacar and the control with the highest value. The severity index (AUDPC) presented statistical differences with values between 217.4-556.1. The affected area was between 27.50-56.25%. The AUDPC presented significant statistical differences, the control was more affected. The application of organic fungicides generates control over BS, the percentage of affected area and the severity index of the disease in the control was higher. In L2 the severity of the disease was greater than in L1.

#### Keywords:

*Mycosphaerella fijiensis*, management, single leaf test, severity, control.

<https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/455>

## RESUMEN

El banano (*Musa x paradisiaca*) es un fruto tropical con alto consumo mundial por su calidad, beneficios nutricionales y vida en anaquel. Sus hojas son afectadas por Sigatoka negra (SN, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet), disminuyendo fotosíntesis y rendimiento. Se evaluó la aplicación de fungicidas orgánicos sobre la severidad de Sigatoka negra en el cultivo de banano en época lluviosa y seca. El ensayo se realizó en Fumipalma, S.A., provincia de Guayas, Ecuador. Se utilizaron plantas del cv. Williams, sembradas a 3m x 2,5m (1333 plantas·ha<sup>-1</sup>). Las aplicaciones se iniciaron en plantas con 12-14 hojas, en las hojas 1 (H1) y 2 (H2), en la parte derecha de la nervadura central (metodología single leaf test; SLT). Se utilizó un diseño de experimentos en bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Se evaluó la evolución de la enfermedad (% en Fumipalma S.A.) y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) en H1 y H2, hasta 35 y 56 días después de la aplicación en época lluviosa y seca, respectivamente. La evolución de la enfermedad en H1 en SLT, estuvo entre 16,60-50,00% y 4,30-77,80 (lluvia-sequía). El área bajo la curva de severidad (AUDPC) presentó diferencias estadísticas con valores entre 217,4-556,1 y 40,43-671,56 en H1 (lluvia y sequía). El área afectada estuvo entre 27,50-56,25% y 13,05 y 96,26 en H2 (lluvia y sequía). El AUDPC presentó diferencias estadísticas significativas, el testigo fue más afectado. La aplicación de fungicidas orgánicos genera control sobre SN, el porcentaje de área afectada y el índice de severidad de la enfermedad en el testigo fue mayor. En H2 la severidad de la enfermedad fue mayor que en H1. Los fungicidas Progranic Cinnacar, Progranic Mega y Jaque Mate solos o combinados con Volley presentaron el mayor control de SN, tanto en época lluviosa como seca.

**Palabras clave:** fungicidas orgánicos, Sigatoka negra, manejo, época lluviosa y seca.

## ABSTRACT

Banana (*Musa x paradisiaca*) is a tropical fruit with high worldwide consumption for its quality, nutritional benefits and shelf life. Its leaves are affected by Black Sigatoka (BS, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet), decreasing photosynthesis and yield. The application of organic fungicides was evaluated on the severity of Black Sigatoka in the banana crop in the rainy and dry season. The trial was carried out in Fumipalma, S.A., Guayas province, Ecuador. Plants of cv. Williams, sown at 3m x 2.5m (1,333 plants·ha<sup>-1</sup>). The applications began in plants with 12-14 leaves, in leaves 1 (L1) and 2 (L2), in the right part of the midrib (single leaf test methodology; SLT). A randomized complete block design of experiments with six treatments and four replications was used. The evolution of the disease (%; Fumipalma S.A.) and area under the disease progress curve (AUDPC) in L1 and L2 were evaluated. up to 35 and 56 days after application in the rainy and dry season, respectively. The evolution of the disease in L1 in SLT was between 16.60-50.00% and 4.30-77.80 (rain-drought). The area under the severity curve (AUDPC) presented statistical differences with values between 217.4-556.1 and 40.43-671.56 in L1 (rain and drought). The affected area was between 27.50-56.25% and 13.05 and 96.26 in L2 (rain and drought). The AUDPC presented significant statistical differences, the control was more affected. The application of organic fungicides generates control over BS, the percentage of affected area and the severity index of the disease in the control was higher. In L2 the severity of the disease was greater than in L1. The fungicides Progranic Cinnacar, Progranic Mega and Jaque Mate alone or combined with Volley showed the highest control of BS, both in the rainy and dry season.

**Keywords:** organic fungicides, Black Sigatoka, management, rainy and dry season.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	2
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	3
<b>RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA</b> .....	4
<b>REPORTE DE SIMILITUD DE TURNITIN</b> .....	5
<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</b> .....	6
<b>CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR</b> .....	7
<b>CERTIFICACIÓN DE PUBLICACIÓN</b> .....	8
<b>RESUMEN</b> .....	9
<b>ABSTRACT</b> .....	10
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	11
<b>LISTA DE FIGURAS Y TABLAS</b> .....	13
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	18
<b>Objetivo general:</b> .....	20
<b>Objetivos específicos:</b> .....	20
<b>Hipótesis</b> .....	20
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEORÍCO</b> .....	21
<b>Producción y consumo de banano a nivel mundial</b> .....	21
<b>Importancia del cultivo de banano en Ecuador</b> .....	22
<b>Producción de banano en la provincia de El Oro</b> .....	23
<b>Morfología y taxonomía de los bananos</b> .....	24
<b>Estrategias de control de enfermedades en las plantas</b> .....	25
<b>Sigatoka negra en el cultivo de banano ecuatoriano</b> .....	25
<b>Control de Sigatoka negra</b> .....	26
<b>Fungicidas orgánicos para el control de Sigatoka negra</b> .....	27
<b>Relación de la época de lluvia con la incidencia de Sigatoka</b> .....	27
<b>CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	28
<b>Lugar experimental</b> .....	28
<b>Material vegetal</b> .....	28
<b>Procedimiento de campo</b> .....	28
<b>Diseño experimental</b> .....	30
<b>CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	33
<b>CONCLUSIÓN</b> .....	44

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	45
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	46

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Esquema de marcaje de las hojas 1 a la 12 de una planta en estado evolutivo, para la evaluación de la incidencia y severidad de Sigatoka negra ( <i>Mycosphaerella fijiensis</i> Morelet).....	28
Figura 2. Procedimiento utilizado para cubrir las hojas 1 y 2 para realizar la aplicación de fungicidas de acuerdo con la técnica hoja simple o single leaf test.....	29
Figura 3. Equipo de aspersión utilizado para la aplicación de fungicidas de acuerdo con la técnica hoja simple o single leaf test (tanque de CO <sub>2</sub> , válvulas, manómetro y aplicador), para simular la descarga que realiza el equipo de aplicación aéreo de tipo comercial.....	30
Figura 4. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época de lluvia. Metodología utilizada por Fumipalma, S.A. ....	34
Figura 5. Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos. ....	35
Figura 6. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época de lluvia. Metodología desarrollada por Fumipalma, S.A.....	36
Figura 7. Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos. ....	37
Figura 8. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época seca. Metodología desarrollada por Fumipalma, S.A.....	39
Figura 9. Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos. ....	39
Figura 10. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época seca. Metodología desarrollada por Fumipalma, S.A.....	40
Figura 11 Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas in vitro del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos. ....	41
Tabla 1. Componentes químicos de los fungicidas orgánicos aplicados durante el periodo de lluvia para el control de Sigatoka negra ( <i>M. fijiensis</i> Morelet) en banano. ....	31

Tabla 2. Componentes químicos de los fungicidas orgánicos aplicados durante el periodo seco para el control de Sigatoka negra (*M. fijiensis* Morelet) en banano. .... 32

## INTRODUCCIÓN

Los cinco principales frutos tropicales (bananas, piñas, mangos, aguacates y papayas) más importantes del mundo son exportados desde América Latina y el Caribe, por lo que exigen un papel trascendental en la provisión de frutas a nivel mundial. Ante la presencia de tierras y condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de productos tropicales, la región se sitúa en el segundo lugar, como productor líder en la producción de bananas y frutas tropicales; además de ubicarla como una de las principales consumidoras en el mundo. Aproximadamente de esta región provienen el 25% de la producción mundial total de bananas y de las principales frutas tropicales, con un volumen de producción anual de 54 millones de toneladas entre 2016-2018, cuyo consumo per cápita anual de bananas, correspondió a 55 kg entre este último y el resto de las frutas tropicales señaladas (Altendorf, 2019).

Las bananas son las frutas con mayor producción y exportación en América Latina y el Caribe; para 2016-2018 el volumen total de producción para la región fue de 30 millones de t·año<sup>-1</sup>, las exportaciones tuvieron un promedio de 13 millones de t·año<sup>-1</sup>, lo cual constituyó el 80% de los envíos mundiales. El ingreso estimado para la industria bananera en América Latina y el Caribe, producto de las exportaciones fue de USD 5600 millones·año<sup>-1</sup> (Altendorf, 2019).

Altendorf (2019) señaló que Ecuador representó el mayor exportador mundial de banano con una participación estimada del 36% de las exportaciones mundiales durante 2016-2018. Alcanzando envíos de 6,6 millones de toneladas en 2018, respaldados por las excelentes condiciones agroecológicas de las áreas de producción, el manejo del cultivo y las inversiones exitosas en la expansión de la producción y tecnologías de mejora del rendimiento. Las exportaciones realizadas por Ecuador fueron dirigidas principalmente a la Unión Europea y Rusia, que adquirieron 1,9 y 1,5 millones de t, respectivamente. Los Estados Unidos de América importó 780.000 t·año<sup>-1</sup>, generando USD 2,9 mil millones.

En este mismo orden de ideas, ACORBANEC (2021) indicó que las exportaciones de banano de Ecuador en 2020 fueron de 380.498 millones de cajas, lo cual fue 6,58% mayor a lo exportado en el 2019, producto del aumento de la oferta exportable y de la demanda en las diversas empresas de destino a excepción de Asia Oriental, Estados Unidos y Oceanía.

Ante lo indicado anteriormente, donde se exalta la importancia del cultivo del banano (*Musa x paradisiaca*) como componente trascendente en lo social y económico, producto de los ingresos erarios y aumento de empleos directos e indirectos; sino también, por su alto consumo

mundial debido a su calidad, beneficios nutritivos y su vida postcosecha, formando parte básica de la alimentación diaria de personas, principalmente en las regiones subtropicales y tropicales de América Latina y el Caribe (Weber et al., 2017; Alakonya et al., 2018). Sin embargo, este cultivo es afectado por una serie de problemas fitosanitarios que pueden atacar cualquiera de sus órganos (Amorim et al., 2013).

En los bananos se presentan enfermedades foliares como Sigatoka negra (SN, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet), la cual según Crous et al. (2003), fue descrita en 1963 primera vez en Las Islas Fiji. En Ecuador fue detectada por primera vez en 1987 al norte del país en la provincia de Esmeraldas, posteriormente en 1989 en las provincias de Los Ríos y Guayas y en 1992 en la provincia de El Oro, al sur del país, actualmente está presente en todo el país (Martillo y Solano, 2003). Según Churchill (2011) y Onyilo et al. (2018) el hongo generador de la enfermedad se propaga diseminando en el aire las conidias (estructuras sexuales) y las ascosporas (estructuras asexuales).

Si bien es cierto que el ataque de patógenos es uno de los limitantes en la producción del cultivo, existen otros factores tales como el aumento de la población humana, el cambio climático, la contaminación ambiental, la escasez de agua, entre otros, que afectan negativamente al cultivo. Por lo tanto, para la producción sostenible de alimentos, las pérdidas debidas a enfermedades de las plantas deben minimizarse (Bebber et al., 2013; Raza et al., 2019).

El cambio climático presenta un impacto importante en el desarrollo y producción de los cultivos; en ese sentido, Cline (2007) y Rosenzweig et al. (2007) indicaron que se han presentado cambios en sistemas naturales y cultivados con impactos en los ciclos estacionales y biológicos (estados fenológicos) en especies vegetales, con expresiones en las variables climáticas (precipitación, temperatura, humedad relativa, entre otras) que se encuentran asociadas con el crecimiento de los cultivos. Adicionalmente, De Schutter (2010) señaló las relaciones que conllevan el desarrollo de plagas y patógenos, los cuales son organismos que inciden de manera relevante en la disminución del rendimiento de los cultivos, generando pérdidas consideradas de 20 al 40% de la producción potencial de alimentos en los países en vías de desarrollo.

Hernández-Mansilla et al. (2016) sugirieron que, con las modificaciones ocurridas en el clima, los insectos que generan daños serán más abundantes con el incremento de la temperatura, como también se presentarán alteraciones en las tasas y etapas de desarrollo de varios patógenos y variaciones en la resistencia de los hospedantes, lo cual tendrá como consecuencia cambios en

la fisiología de las interacciones entre patógeno y hospedante. A lo que, Altieri & Nicholls (2008) reseñaron que muchos patógenos aumentaron su severidad, debido a los cambios que se presentaron en humedad y la temperatura, lo que a su vez incrementó el uso de pesticidas químicos, los costos de producción y los daños ambientales.

Pérez (2006) señaló la importancia en el uso de fungicidas químicos en la producción bananera, para la protección contra SN, particularmente cuando se utilizan clones susceptibles, debido a que en los lugares donde existe una pluviometría adecuada las medidas no químicas (manejo cultural, entre otros) no permiten controlar de manera apropiada la enfermedad. Donde los costos totales de producción representaron entre el 15 y 25% en el manejo de la enfermedad en plantaciones comerciales (Pérez et al., 2002). En contraste con esto, Sagder (1995) señaló que en control de esta enfermedad se reportaron 40 aplicaciones·año<sup>-1</sup>, representando entre 40 y 60% del costo total de producción.

## CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El control químico de SN se ha realizado con fungicidas protectantes y sistémicos en suspensión acuosa, emulsiones de aceite y agua, o mezclados solo con aceite mineral, utilizando además activadores de mecanismos de resistencia del hospedante a través de la utilización de compuestos concernientes a la nutrición, de origen químico, como naturales, los cuales ejercen influencia sobre la fisiología de la planta y el desarrollo de la enfermedad (Pérez, 2006).

Es importante señalar que el uso excesivo de agroquímicos para el control de SN ha aumentado la cantidad de residuos en el ambiente, la pérdida de flora y fauna silvestre benéfica, intoxicaciones y enfermedades en el hombre (Arzate-Vega et al., 2006); así mismo, la pérdida de sensibilidad de SN a ciertas moléculas químicas, producto de su plasticidad genética (doble tipo de reproducción vegetativa), por lo que se hace necesario investigar sobre posibles medidas alternas que disminuyan los daños causados por la enfermedad; así como también, reducir el uso de fungicidas, por ello, la tendencia actual está dirigida a la utilización de biofungicidas como una posibilidad alternativa viable del uso de productos orgánicos (Michel-Aceves et al., 2008).

Hernández-Mansilla et al. (2016) sugirió la utilización de lo que han denominado “Agricultura Climáticamente Inteligente”, la cual presenta manejos tecnológicos y acciones orientadas a disminuir los gases de efecto invernadero; con ello, se presenta un mayor ajuste al cambio climático y la sustentabilidad de la producción, con realce en el rediseño de los agroecosistemas; además, de establecer una alternativa de sistemas convencionales de producción de banano a sistemas biodiversos y resilientes con mayor sostenibilidad, donde el manejo de la enfermedad se realice a través de controles, donde se apliquen como elementos claves la planificación y el establecimiento de sistemas de producción bananeros, lo que permitiría combatir esta enfermedad de los bananos, coadyuvando a la disminución y la influencia de los inóculos para evitar la disminución del tiempo de incubación del patógeno, y así frenar el progreso de la enfermedad junto con el incremento de los niveles de infección.

Por otro lado, Lafargue (2015) indicó que las formulaciones que presentaron mezclas de fungicidas de origen vegetal con vitaminas, proteínas y reguladores de crecimiento, respondieron favorablemente a la combinación de señales estructurales dentro de la planta, generando una mayor eficiencia en el transporte, metabolismo y almacenamiento de los nutrientes, a la vez que se indujo el crecimiento y desarrollo de las plantas. En este orden de

ideas, Suárez et al. (2003) señalaron que al utilizar fungicidas orgánicos en conjunto con fungicidas convencionales fue inhibido el desarrollo de Sigatoka negra.

García & Pérez (2003) han referido más de 150 metabolitos procedentes de fitoalexinas en diferentes plantas, entre ellos algunos con efecto sobre Sigatoka negra (Marín et al., 2009); en contraste a ello, Rodríguez et al. (2011) señalaron que en banano cuando se han utilizado algunos inductores de fitoalexinas para el control de Sigatoka negra, no se combate la enfermedad, sino que generan niveles de defensas precisos que ocurra la producción de frutos de calidad y de acuerdo con Rodríguez et al. (2010) reduce el nivel de daño de la enfermedad, debido a que se promueve la producción de fitoalexinas en las plantas y se convierten en una herramienta para su control. No obstante, García & Pérez (2003) señalaron que no existe claridad sobre el efecto tóxico producido por las fitoalexinas a estos microorganismos, y Rodríguez et al. (2011) consideraron que la producción de estas sustancias en las plantas, estuvieron referidas a la respuesta a estímulos físicos, químicos o microbiológicos.

Ante las nuevas perspectivas económicas, la necesidad de inocuidad de los alimentos, cuidados del ambiente y restricciones a nivel internacional en las exportaciones de banano con altas cargas químicas, se afrontan nuevos desafíos en la cadena de producción de bananos, entre las que destacan las limitaciones en el uso de fungicidas químicos convencionales para el control de Sigatoka negra.

Kerebba et al. (2019) han referido la utilización de bioplaguicidas de bajo costo y eco-responsable como una alternativa interesante para productores de banano, bien sean pequeños, medianos y grandes, con especial énfasis para los pequeños productores con menores recursos. Proponiendo la utilización de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) un biopesticida disponible para los productores, el cual preserva el ambiente, la salud humana y la calidad de vida; el cual, además contiene minerales y algunos metabolitos secundarios (alcaloides, flavonoides y terpenoides).

Tatsegouock et al. (2020) mostraron que el extracto líquido *T. diversifolia* utilizado en el agua de riego en plantas de plátano en condiciones de vivero, promovió el crecimiento y tuvo una acción protectora contra Sigatoka negra. A lo que Ewané et al. (2020a), Ewané et al. (2020b), Ewané et al. (2020c) y Meshuneke et al. (2020) sugirieron la existencia de un vínculo entre la promoción del crecimiento y la menor susceptibilidad a enfermedades de las plantas tratadas en el vivero y en el campo con productos cuya base fue *T. diversifolia*. Por otro lado, Mur et al. (2016) indicaron que *T. diversifolia* es rica en minerales como el nitrógeno, el cual es reconocido por fomentar el crecimiento de las plantas, teniendo un papel esencial en el

metabolismo defensivo primario y secundario y en los eventos mediados por el nitrógeno orgánico.

Ante lo antes expuesto los objetivos propuestos fueron:

**Objetivo general:**

Evaluar el efecto de las aplicaciones de extractos botánicos mediante la técnica de hoja simple para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*), en dos épocas del año.

**Objetivos específicos:**

Determinar el efecto de las aplicaciones de extractos botánicos mediante la técnica de hoja simple para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*), en la época seca.

Comprobar el efecto de las aplicaciones de extractos botánicos mediante la técnica de hoja simple para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*), en la época lluviosa.

**Hipótesis**

La aplicación de extractos botánicos mediante la técnica de hoja simple controla Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*), tanto en la época seca como la lluviosa.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEORÍCO

### **Producción y consumo de banano a nivel mundial**

La producción y consumo de bananos como fruto fresco ha superado los estándares de los frutos que han mantenido un espacio continuó en los mercados internacionales como los cítricos. En este sentido, el grupo genético Cavendish es el de mayor siembra y producción de banano, por encima de los clones Gran Enano (Enanica) y Valery (Nanica) o el Gros Michel. Los principales mercados compradores de los frutos a nivel mundial son: Europa, Estados Unidos, Canadá y Japón, principalmente y algunos otros países; los principales exportadores han sido Ecuador y Filipinas, alcanzando el mejor precio el banano orgánico (Soto, 2011). Estas consideraciones en cuanto a la producción y espacio en el mercado se deben en gran medida a la capacidad exportadora de Ecuador, debido entre otras situaciones a la calidad de los frutos obtenidos, entre otras deferencias debido a la posición geográfica y las condiciones edafoclimáticas (Zhiminaicela et al., 2020).

Las exportaciones de banano en el 2019 alcanzaron valores históricos a nivel mundial (20,2 millones de toneladas), con un incremento de 5% al compararlo con el 2018, esto se ha atribuido al incremento en el suministro realizado por Ecuador y Filipinas, al ser los dos principales exportadores de bananos. En la región, Ecuador contribuyó con más del 40% de las exportaciones, con un aumento del 2%, lo que se tradujo en 6,7 millones de toneladas de frutos exportados. Otras de las razones de estos volúmenes de exportación están referidos a la demanda de China y Turquía, siendo las nuevas plazas de los bananos ecuatorianos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2020). Por otro lado, el Banco Central del Ecuador (BCE, 2020) señaló que, en el primer semestre de 2019, las exportaciones de banano en Ecuador aumentaron en 3,7% alcanzando 3.393.085 t, volumen mayor al obtenido en las exportaciones del 2018 con 3.271.275,7 t. También se ha señalado un incremento en la siembra de las variedades de Cavendish y Valery.

Así, analizado desde el punto de vista del manejo ecuatoriano realizado al cultivo, se ha observado que, en ciudades productoras de banano como Babahoyo, el uso intensivo de sustancias plaguicidas agrícolas, sin las correctas consideraciones (rotación de productos, dosis de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, entre otras), ha afectado la sostenibilidad ambiental. Por lo cual, a criterio de Caicedo-Camposano et al. (2020) al disminuir el uso de insumos agrícolas nocivos y mejorando el manejo fitotécnico en las fincas productoras, conllevaría, a alcanzar sistemas de producción sostenible.

Adicional a ello, es importante conocer que la zonificación de los sistemas productivos en cuanto a los rendimientos analizados desde 2013 a 2016, indicaron que la zona 7 (provincia de El Oro), se encuentran por debajo de la producción con respecto al resto de las demás provincias productoras; por lo que, es importante seguir estudiando cuáles podrían ser las implicaciones, especialmente por la incidencia de plagas y enfermedades, con énfasis en las que afectan a los sistemas productivos (León et al., 2020).

### **Importancia del cultivo de banano en Ecuador**

Con los antecedentes previamente expuestos se podría indicar que el beneficio e importancia económica del cultivo de banano en la producción e ingresos económicos es de vital importancia en la zona costera (Galarza, 2020), así como para cantones dedicados a varias actividades productivas (Serrano et al., 2020), beneficiando la economía y a toda la cadena de valor que se encuentra inmersa dentro de ella, tanto a las empresas, como a los empleados y familias que se benefician de manera directa e indirecta de esta actividad productiva (García-Saltos et al., 2016).

La producción de bananos en Ecuador se encuentra concentrada en la zona costera (provincias de El Oro, Guayas, Los Ríos, Esmeraldas y en los valles cálidos de la Sierra de Cañar y Loja), donde las condiciones agroecológicas y los suelos han permitido alcanzar niveles considerables de productividad. La siembra de bananos es superior a las 200.000 ha, distribuidas el 81% en la Costa, 16% en la Sierra y 3% en el Oriente. La comercialización de este rubro representa aproximadamente el 20% del Producto Interno Bruto (PIB). La exportación de bananos en Ecuador tuvo sus orígenes en 1910, donde se comercializaba en racimos que tenían un peso de un quintal (León et al., 2021). Según la FAO (2018), Ecuador vende entre 80 y 85 millones de cajas·año<sup>-1</sup>, cerca del 40% de su producción total. Esto representa una tercera parte de las exportaciones mundiales de banano, lo cual evidencia la producción de frutos de alta calidad, exquisito sabor y estándares internacionales de protección ambiental (León et al., 2021).

La producción orgánica proporciona ventajas, tales como cuidar el suelo y no contaminar el ambiente, por ser una actividad basada en la producción natural y ecológica favorece a la población, desde muchos puntos de vista (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2016). En este sentido, el banano orgánico presenta gran interés, ya que los consumidores atraídos por la inocuidad de los alimentos (consideran buena salud por no contener productos químicos). Además, su mayor producción quizás se deba a la calidad y precio, posicionándose en el mercado de diferentes partes del mundo (León et al., 2021).

Se podría indicar que la producción de bananos orgánicos es relativamente reciente (desde un poco más de 10 años), la misma ha sido liderada por pequeños productores, en la actualidad existen algunas empresas dedicadas a esto y cuentan con certificación orgánica y exportan el producto hacia los mercados de Japón, Europa y Estados Unidos. Las provincias de El Oro y Guayas son las que producen y exportan frutos orgánicos, logrando importantes ingresos para el país (Yáñez, 2018).

En este orden de ideas, la Federación Ecuatoriana de Exportadores (Fedexport, 2018) ha señalado lo importante que resulta el desarrollo de la agricultura orgánica, la cual podría constituir un instrumento que mitigue las condiciones de pobreza de los productores, al contar con una gran cantidad de ventajas competitivas, representando mejorar las condiciones económicas de los productores.

Destacan las provincias de El Oro y Guayas, como fue indicado anteriormente, contribuyendo con el crecimiento económico, por la relevancia del producto interno bruto, generando el incremento del empleo en los sectores productivos. Por otro lado, se encuentra la actividad bananera desarrollada de manera convencional, que agrupa un mayor número de productores que el manejo orgánico, uno de los principales destinos es Canadá, donde también se realizan rigurosos controles de calidad, donde la globalización ha consentido la firma de importantes acuerdos comerciales e inclusive incentivos concedidos por el Estado, con lo que se logra que las marcas ecuatorianas alcancen los mercados a través de cadenas medianas de negocios, esto representa una gran oportunidad de exportación para los pequeños productores de banano convencional (Capa et al., 2018)

### **Producción de banano en la provincia de El Oro**

Debido a estos antecedentes sería conveniente, en algunos casos cambiar la producción de banano convencional a orgánico debido a los beneficios que produce, en cuanto al precio por la venta de los frutos, con los beneficios propios para el consumidor al mejorar su calidad e inocuidad de este alimento, pero también para la humanidad en general, al disminuir la contaminación ambiental por la utilización de agroquímicos de tipo convencional. La experiencia en el manejo de estos cultivos en la provincia ha sido muy amplia, por lo cual cambios graduales no afectarían el rendimiento del cultivo (Capa et al., 2016).

Además, se beneficiaría el sistema productivo debido al uso de sustancias o compuestos orgánicos, el requerimiento de mano de obra para trabajadores se incrementa ligeramente, fomentando el desarrollo de fuentes de trabajo. La diversificación y la tendencia del mercado

por productos orgánicos, que, a su vez, ha fomentado el desarrollo de nuevos productos sintéticos con clasificación orgánica, que reducen el impacto climático, el deterioro de las tierras y conduce a un sistema de producción más eco-amigable (Capa et al., 2016).

Complementado a ello, el uso de nuevas tecnologías que permiten una mejor gestión de los sistemas productivos, particularmente de la producción agropecuaria, para que tenga una mayor pertinencia, dando respuestas a las necesidades de los productores, lo cual podría a su vez ser concebido a través de la utilización del análisis de la información y la toma de decisiones. Lo que en Ecuador aún no se ha trabajado de la manera más eficiente (Vite et al., 2020).

Basados en estos antecedentes, bajo el manejo de estos sistemas productivos, se puede obtener mejores precios enfocados en la dirección de comercio justo, en la que los productores obtienen mayores ingresos, considerando que se deben disminuir la aplicación de insumos que causen impactos ambientales (Borja, 2016).

Así, Zhiminaicela et al. (2020) mencionaron que los sistemas agro-productivos de banano, no constituyen como tal el problema del impacto ambiental, entre algunos otros, sino más bien el mal manejo de las plantaciones, tanto en los sistemas de producción convencional u orgánicos, como con el uso de sustancias prohibidas en el mercado comercial. Estas aseveraciones fueron similares a las experiencias obtenidas en el cantón Pasaje, con el uso y manejo de un sistema orgánico de producción (Estrada & Encalada, 2017).

### **Morfología y taxonomía de los bananos**

Las plantas de banano se encuentran subdivididas morfológicamente y organográficamente en sistema radical, cormo, pseudotallo, hojas, inflorescencias y frutos, siendo estas las partes primordiales del cultivo, las cuales varían en dimensiones y tamaño dependiendo de las características genéticas expresadas por los diferentes híbridos o clones que se siembren o multiplican. Generalmente, sus raíces son blancas y suculentas con diámetro de 5 a 8 mm, las cuales varían en función de la fertilización o incidencia de patógenos. El cormo da origen a las nuevas plantas, del cual se desarrollan yemas que sirven para la reproducción, cambiando su dependencia fotosintética de la planta madre cuando ha alcanzado el desarrollo de las hojas verdaderas. Las hojas son el principal órgano de fotosíntesis en las plantas, el pseudotallo constituye un falso tallo, formado por las vainas envolventes de las hojas, las cuales en la parte superior se desarrollan y expanden, y es precisamente en las láminas foliares (Patiño et al., 2007), el órgano de la planta (hojas), donde se presenta la mayor incidencia del patógeno, *Sigatoka negra*, por lo cual es el órgano vegetal sobre el cual se deben evitar los daños para

lograr alcanzar una mayor producción y productividad del cultivo. Sus yemas florales y frutos son autopolinizables por lo que llegan a fecundar en dependencia del estado nutricional de las plantas, su crecimiento es en racimo y su forma es de mano, como coloquialmente es conocido, donde las flores femeninas se desarrollan de manera helicoidal (Tuz, 2018).

### **Estrategias de control de enfermedades en las plantas**

En las plantas se presentan una gran cantidad de patógenos (hongos, bacterias y hongos), insectos y nematodos, entre otros. Estos pueden generar pérdidas de la producción agrícola mundial en aproximadamente el 26% en promedio anual (Oerke, 2006). Aun cuando estos no son los únicos que inducen disminución en la producción, existen algunos otros factores como el incremento de la población humana, la contaminación ambiental, el cambio climático, la escasez de agua, entre muchos otros, que afectan de manera negativa a los cultivos (Rani et al., 2020). En este sentido, Bebber et al. (2013) y Raza et al. (2019) señalaron la necesidad de minimizar las pérdidas debidas a las enfermedades de las plantas con el fin de mantener una producción sostenible de alimentos.

Fisher et al. (2012) indicaron que entre los principales alimentos básicos se encuentran el arroz, el trigo, el maíz y los bananos. A lo que Butler (2013) ha señalado que los bananos son atacados principalmente por Sigatoka negra causada por *M. fijiensis* y el Mal de Panamá originada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubensis*. También, destacó Cox et al. (2019) que el cambio climático ha permitido el resurgimiento de enfermedades antiguas y la aparición de nuevas enfermedades que se están convirtiendo en importantes. Por lo que, Childers et al. (2015) y Hahn (2014) señalaron que las prácticas agrícolas modernas se han basado principalmente el control de patógenos con plaguicidas químicos, con lo que se ha conducido el desarrollo de cepas de patógenos tolerantes o resistentes a los plaguicidas.

Rani et al. (2020) sugirieron el desarrollo de estrategias distintas al control químico, para que se alcance una resistencia perdurable y de amplio espectro contra patógenos, entre otras, prácticas agronómicas, control biológico y cultivares resistentes a enfermedades. Igualmente, la utilización de supervisión permanente en el campo y la erradicación de plantas infectadas para disminuir la propagación epidémica de la enfermedad.

### **Sigatoka negra en el cultivo de banano ecuatoriano**

La Sigatoka negra es uno de los principales patógenos que afecta la producción del cultivo, el patógeno *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, debe tener un correcto manejo y control para evitar

pérdidas económicas cuantiosas, para el cual se debe realizar un monitoreo continuo para que disminuya la incidencia sobre los rendimientos de los cultivos (Churchill, 2011).

Es importante destacar que las condiciones edafoclimáticas, cultivares, variabilidad del patógeno y el manejo agronómico influyeron en la proliferación del patógeno en el cultivo (Quintero et al., 2011) el área donde se realizó la aplicación foliar, también incidió en la patogenicidad del hongo (Cervantes-Álava et al., 2020), algunos de los elementos del manejo agronómico y que influyeron en el rendimiento, se mencionaron a la rotación de grupos químicos, la supervisión para conocer el estado evolutivo de la enfermedad, la época climática, y al estado nutricional de la plantación (Quevedo et al., 2018; Cedeño et al., 2021; Sánchez-Urdaneta et al., 2021), un mal manejo agronómico de estos productos químicos produce daños a los agroecosistemas (Zhiminaicela-Cabrera et al., 2020, Cervantes-Álava et al., 2021), pero también quizás podrían tener influencia sobre la resistencia del hongo al control con el uso de estos agroquímicos.

### **Control de Sigatoka negra**

*Mycosphaerella fijiensis* actúa de forma directa sobre el área foliar del cultivo por medio de sus ascosporas las cuales producen conidios, esta enfermedad afecta directamente en la fotosíntesis del cultivo, al disminuir el área foliar de las plantas, debido al daño que generan en las hojas. Obteniendo menor rendimiento especialmente en la biomasa del fruto que produce, además de una pronta maduración de los frutos, lo cual genera que el fruto pierda su valor comercial para exportación ocasionando pérdidas económicas importantes, especialmente esto se debe a que el hongo ha desarrollado tolerancia o resistencia a fungicidas comerciales (García et al., 2007; Díaz-Trujillo et al., 2018) haciéndose necesario el uso de alternativas para su óptimo control (Jaramillo et al., 2017).

Existen ciertos genotipos que tienden a tener mayor resistencia al patógeno (Cedeño et al., 2017). Pero debido a que existe una alta variabilidad entre las cepas de Sigatoka, estas afectan con el tiempo aquellos cultivares que presentan tolerancia o resistencia al patógeno (Fullerton & Olsen, 1995); por otro lado, la resistencia de los consumidores al cambio de variedades que pudieran ser más tolerantes o resistentes a la enfermedad, no son atractivas para el consumo. Las altas densidades de siembra en las que no se da espacio para la entrada de luz forma un microclima debajo de las plantas de banano, con un aumento de la incidencia del patógeno en el cultivo (Rodríguez et al., 2016).

### **Fungicidas orgánicos para el control de Sigatoka negra**

Ante el hecho de considerar a esta enfermedad como una de las más dañinas y costosas para el cultivo de bananos y plátanos comerciales y, aunado a ello que se controla principalmente mediante pulverizaciones intensivas de fungicidas sintéticos, afectando el ambiente y la salud. Se ha indicado que el aceite esencial del árbol del té (*Melaleuca alternifolia*) ha presentado eficacia contra una amplia gama de hongos patógenos de plantas, incluida Sigatoka negra, al comparar su uso en sistemas de producción convencionales y resultando tan efectivo como los fungicidas sintéticos tridemorph, difenoconazole, trifloxystrobin y azoxystrobin (Reuveni et al., 2020).

*Tithonia diversifolia* presenta muchos compuestos, tales como elementos minerales, metabolitos que ayudan a la defensa de elementos patógenos y algunos fitoquímicos, por lo que, cada vez es más utilizada en la agricultura. Ewané et al. (2020c) destacaron su efecto protector contra Sigatoka negra *in vitro* en plantas de banano en la etapa de floración con alta presión de la enfermedad, utilizando tres concentraciones de *T. diversifolia*, al 25, 50 y 100% durante 17 semanas sobre hojas funcionales, hoja moteada más joven y hoja necrótica más joven. En este sentido, encontraron que el tratamiento de 25% de *T. diversifolia*, fue el más efectivo, sugiriendo que no requiere de una alta concentración para controlar Sigatoka negra, igualmente permitió corroborar la actividad fungistática, insecticida, repulsiva y antimicrobiana, señalada por Musyimi et al. (2012), Diby et al. (2015), Umar et al. (2015), Kerebba et al. (2019) y Tatsegouock et al. (2020).

### **Relación de la época de lluvia con la incidencia de Sigatoka**

En este sentido, las condiciones climáticas de la zona influyen directamente en las propiedades patogénicas del hongo en una plantación, especialmente la humedad relativa que le atribuye las condiciones idóneas para el desarrollo de las ascosporas, las altas temperaturas, también constituyen un elemento importante, para el desarrollo y mantenimiento de la enfermedad, ligado además, a la densidad poblacional del cultivo, a mayor intensidad mayor será la proliferación del hongo patógeno (Guillén et al., 2018). Entre otros factores que inciden en el desarrollo evolutivo del patógeno, un buen manejo de Sigatoka negra permitirá obtener rendimientos altos dentro de una plantación bananera y platanera (Yáñez et al., 2020; Sánchez-Urdaneta et al., 2021).

## CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar experimental

La investigación fue realizada en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, localizada a 2°33'41.38" S y 79°32'54.09" O, con altitud de 19 msnm, considerando el periodo seco y de lluvia presentes en la región.

### Material vegetal

Fueron utilizadas plantas obtenidas *in vitro* de banano (*Musa x paradisiaca*) cv. Williams, las cuales se establecieron en campo con una distancia de siembra de 3m x 2,5m, para una densidad de plantación de 1333 plantas·ha<sup>-1</sup>, con lo cual se consideró como alta densidad. Tanto en el periodo seco (agosto-septiembre) como de lluvia (enero-febrero) se realizaron aplicaciones foliares cuando las plantas presentaron entre 12 a 14 hojas.

### Procedimiento de campo

Para realizar las aplicaciones foliares de los fungicidas, fueron seleccionadas las hojas 1 y 2 (de arriba hacia abajo; figura 1) y las aplicaciones se realizaron en el margen derecho de la lámina foliar, abarcando desde la nervadura central hacia el borde, de esta manera se realizó, por ser el primer lado expuesto al ataque de la enfermedad, para evitar colocar el producto en la otra parte de la hoja (margen izquierdo), este fue cubierto con una cartulina (figura 2).

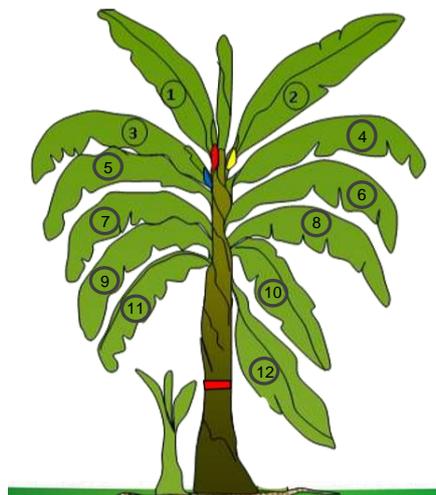


Figura 1. Esquema de marcaje de las hojas 1 a la 12 de una planta en estado evolutivo, para la evaluación de la incidencia y severidad de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). Modificada de Cedeño-Zambrano et al., 2021.



Figura 2. Procedimiento utilizado para cubrir las hojas 1 y 2 para realizar la aplicación de fungicidas de acuerdo con la técnica hoja simple o single leaf test.

También se utilizó un tanque de CO<sub>2</sub> el cual contó con dos válvulas una ubicada a la salida del tanque y otra provista de un manómetro que sirvió para regular la presión ubicada antes del equipo de aspersión, la misma que se calibró entre 28 a 30 PSI de presión, simulando la descarga que realiza equipo de aplicación aéreo de tipo comercial, instalado en la avioneta que sirve como vehículo para la atomización. La aplicación se realizó por una sola vez en las últimas horas de la tarde (4:00 pm) para evitar la quema de la hoja por la aplicación del aceite, ya que cuando se aplica a plena exposición solar, produce fitotoxicidad en la hoja (figura 3).

Para la recopilación de los datos se marcó la hoja 1 y 2, cada una con dos cuadrículas compuestas de cuatro cuadros ubicados en el envés de las hojas tratadas, dicha cuadrícula sirvió como referencia para realizar las lecturas de incidencia y severidad de Sigatoka negra en el mismo lugar de la hoja.



Figura 3. Equipo de aspersión utilizado para la aplicación de fungicidas de acuerdo con la técnica hoja simple o single leaf test (tanque de CO<sub>2</sub>, válvulas, manómetro y aplicador), para simular la descarga que realiza el equipo de aplicación aéreo de tipo comercial.

Las lecturas realizadas fueron calculadas con base al porcentaje de daño de cada cuadro, el cual representó el 100%, en otras palabras, los cuatro cuadros representaron un 400%, se midió la incidencia de cada uno, promediando la hoja con todos los datos obtenidos en la misma, tanto de la parte superior como inferior. Las lecturas se realizaron una vez cada 7 días, luego de que aparecieron las primeras piscas o síntoma; esto es, en hoja 2 a partir de los 7 días y en hoja 1 a partir de los 14 días, hasta los 35 días, tiempo en que llegó el testigo absoluto a alcanzar el mayor porcentaje de quema.

### Diseño experimental

Para los experimentos realizados se utilizó un diseño de experimentos en bloques completos al azar. En el periodo de lluvia se utilizaron seis tratamientos con seis repeticiones, los cuales fueron: testigo (T), Progranic Cinnacar (PC), Jaque Mate (Jm), Progranic Mega (PM), Radix ® y Banole (B) (Tabla 1). En la época seca los productos utilizados fueron: testigo (T), Progranic Cinnacar + Volley (PC+V), Progranic Mega + Volley (PM), Jaque Mate (JM+V) + Volley y

PK50 (Tabla 2), las dosis utilizadas se correspondieron a las recomendaciones técnicas indicadas por los fabricantes, y cuatro repeticiones.

Los componentes activos de los productos utilizados se presentan en las Tablas 1 y 2 utilizados para el control de SN durante la época de lluvia y seca, respectivamente.

Tabla 1. Componentes químicos de los fungicidas orgánicos aplicados durante el periodo de lluvia para el control de Sigatoka negra (*M. fijiensis* Morelet) en banano.

Producto comercial	Ingrediente activo
Testigo	Agua
Progranic Cinnacar (PC)	Extracto de canela ( <i>Cinnamomum zeylanicum</i> ; 15% en peso, equivalente a 151,8 g de i.a.·L <sup>-1</sup> ).
Jaque Mate (JM)	Aceite de canela ( <i>C. zeylanicum</i> , 8%), aceite de clavo (2%) e ingredientes inertes (90%).
Progranic Mega (PM)	Extracto de <i>Larrea tridentata</i> (95% en peso, equivalente a 768,55 g de i.a.·L <sup>-1</sup> ).
Radix (R)	
Banole (B)	Aceite parafínico biodegradable.

Se realizó análisis de varianza y prueba múltiple de medias de mínima diferencia significativa (MDS). Se evaluó la evolución de la enfermedad (%), Fumipalma S.A.) hasta 35 días después de la aplicación, área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) en las hojas 1 y 2 con la técnica de hoja simple o single leaf test (SLT).

Esta técnica hoja simple o single leaf test, permite evaluar la eficacia de los productos para el control y manejo de Sigatoka negra y es apropiado para fungicidas de sitio específico y aceites minerales o vegetales, pero no se recomienda su uso para evaluar fungicidas protectantes. Esta prueba se la realiza en plantas jóvenes, que presenten entre 12-14 hojas que no hayan recibido ninguna aplicación de productos, ni tampoco por deriva (Monreri Laboratorio Agrícola, 2008). Se pueden incluir un testigo o control absoluto para la comparación de resultados (Calle & Yangali, 2014).

Tabla 2. Componentes químicos de los fungicidas orgánicos aplicados durante el periodo seco para el control de Sigatoka negra (*M. fijiensis* Morelet) en banano.

Producto comercial	Ingrediente activo
Testigo	Agua
Progranic cinnacar (Pc)	Extracto de canela ( <i>Cinnamomum zeylanicum</i> ; 15% en peso, equivalente a 151,8 g de i.a. $\cdot$ L <sup>-1</sup> ).
Jaque Mate (Jm)	Aceite de canela ( <i>C. zeylanicum</i> , 8%), aceite de clavo (2%) e ingredientes inertes (90%).
Progranic mega (Pm)	Extracto de <i>Larrea tridentata</i> (95% en peso, equivalente a 768,55 g de i.a. $\cdot$ L <sup>-1</sup> ).
Volley (V)	Fenpropimorf (94,62%), equivalente a 880 g de i.a. $\cdot$ L <sup>-1</sup> .
PK 50	Fertilizante foliar cuya composición es materia orgánica (14,3%), fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 27%) y magnesio (MgO, 0,31%).

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aplicación de extractos botánicos mediante la técnica de hoja simple para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*), en época de lluvia.

Los resultados indicaron que los tratamientos con menor cantidad de área afectada fueron Progranic Cinnacar con 16,60% de daño, seguidos por Progranic Mega (20,60%), Jaque Mate (22,30%), Radix (32,90) y Banole (33,00%) y con el mayor porcentaje de evaluación de la enfermedad el testigo con 50% de área afectada por la enfermedad (Figura 4). Estos resultados corroboraron la información presentada por Noles (2020), indicando que Progranic Cinnacar en dosis de 800 cc·ha<sup>-1</sup> presentó los mejores resultados para controlar Sigatoka Negra. El compuesto activo de acuerdo con las especificaciones del producto fue extracto de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) siendo esta especie vegetal ampliamente utilizada para el control de varios patógenos que atacan a los cultivos (Gutiérrez-Jiménez, 2018).

Rufino et al. (2018) mencionó que este compuesto bioactivo (extracto de canela) tuvo buenos resultados al generar la disminución del patógeno, con el fin de reducir la carga química; en el mismo sentido Zhiminaicela-Cabrera et al. (2021) indicó la importancia de conservar el medio natural para poder aprovechar esos recursos naturales, por ende, la necesidad de utilizar productos orgánicos de importancia para el país, al disminuir el efecto al ambiente y mejorar la inocuidad de alimentos producidos. Tomando en consideración que las especies vegetales pueden tener compuestos bioactivos para ser utilizados en diversas áreas como el control de patógenos (Zhiminaicela-Cabrera et al., 2021).

En la hoja 1, para todos los tratamientos después de los siete y hasta los 14 días después de aplicación (dda) de los productos se presentó un comportamiento similar; no obstante, para los 21 dda se empezaron a separar los efectos de los productos debido a la evolución de la enfermedad, expresada en porcentaje. Para los 28 dds se separan los tratamientos conformando tres grupos. Un grupo entre Progranic Cinnacar, Progranic Mega y Jaque Mate, el segundo grupo conformado por Radix y Banole y el tercero por el testigo. A los 35 dds se presentó la misma tendencia de la anterior evaluación, solo que, en este caso el primer grupo presentó una nueva separación, donde la menor evolución de la enfermedad se observó en Progranic

Cinnacar, Progranic Mega y Jaque Mate, los cuales conformaron un nuevo grupo. Destaca como ya fue indicado que el testigo fue quien presentó la mayor evolución de la enfermedad.

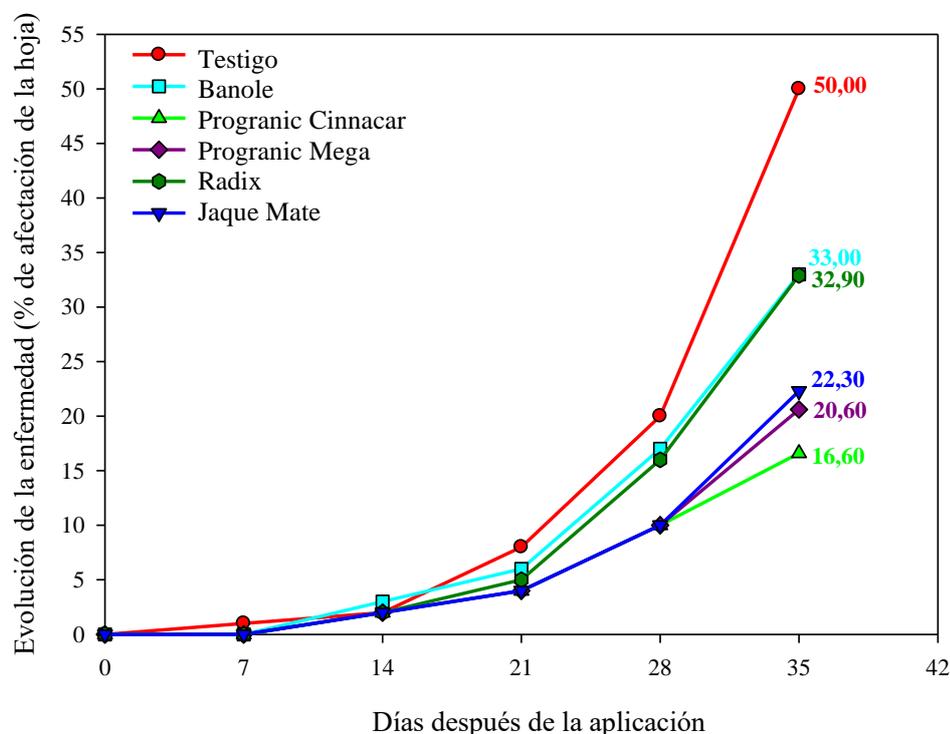


Figura 4. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época de lluvia. Metodología utilizada por Fumipalma, S.A.

Los menores índices del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 1 se obtuvo con Progranic Cinnacar, Progranic Mega y Jaque Mate con valores de 217,4; 243,3 y 257,6; respectivamente, que fueron estadísticamente iguales entre sí y similares a Radix y Banole, que a su vez fueron estadísticamente iguales entre sí, con valores de AUDPC de 386,8 y 411,8, estos dos últimos tratamientos compartieron similitud estadística con el testigo que alcanzó un índice de 556,1 de AUDPC. Los tratamientos Progranic Cinnacar, Progranic Mega y Jaque Mate fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 5).

De acuerdo con Orozco-Santos et al. (2008) la incidencia del patógeno en la hoja incidió directamente sobre la productividad del cultivo, con base a estos, los tres tratamientos que demostraron diferencias significativas fueron benéficos para mejorar la producción. En este sentido, Manzo-Sánchez et al. (2014) mencionó que actualmente el uso de productos con base a compuestos bioactivos de origen natural que permitieron mejorar la productividad y la baja

en la incidencia de un patógeno, se considera viable utilizarlo en las nuevas perspectivas de producción que cada vez son más evidentes.

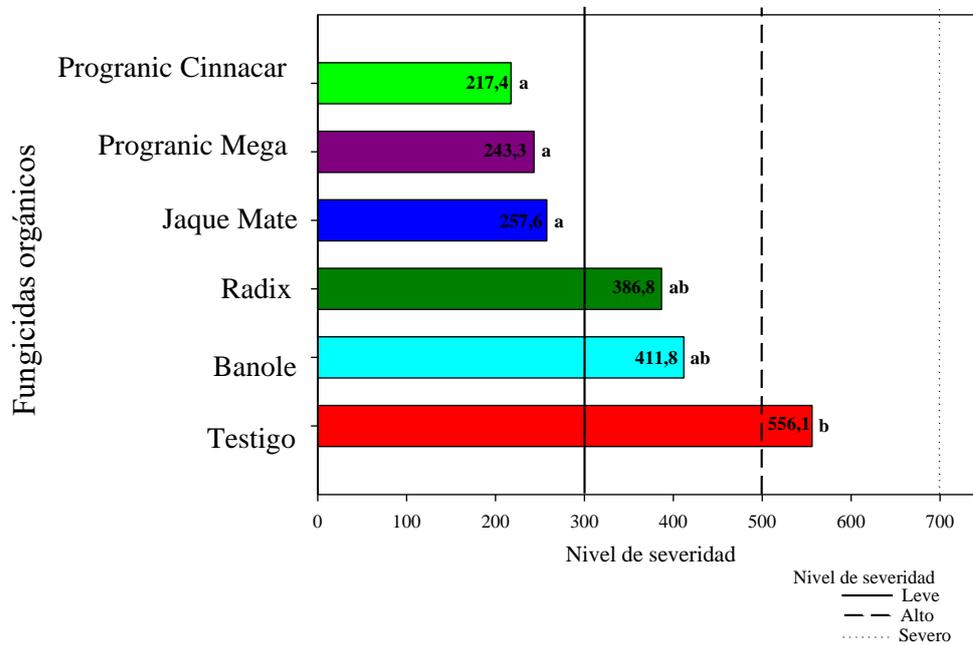


Figura 5. Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos.

El nivel de severidad para Progranic Cinnacar, Progranic Mega y Jaque Mate estuvo en la categoría de leve (< a 300), Radix y Banole presentaron un nivel de severidad entre alto y severo ( $\geq$  a 300 y < a 500) y por último el testigo con un nivel de severidad entre alto y severo ( $\geq$  a 500 y < a 700).

Con respecto a la hoja 2, el tratamiento con menor cantidad de área afectada fue Progranic Mega con 27,50%, seguido de Jaque Mate (32,50%), Progranic Cinnacar (35,00%), Radix (40%) y Banole (42,50%) y finalmente el testigo con 56,25% de área afectada por la enfermedad (Figura 6). La severidad de la enfermedad fue mayor que la observada en la hoja 1, pero además para los primeros 7 dda los tratamientos empezaron a tener influencia sobre la severidad de la enfermedad, aunque los tratamientos iniciaron su separación, no se distinguieron las tendencias, ya que todas presentaron valores muy cercanos entre sí.

Para los 14 dda se empezó una tendencia a separarse los grupos, donde el testigo fue el más afectado al presentar el mayor valor de evolución de la enfermedad y Jaque Mate el menor

valor, para esa evaluación se presentaron tres grupos, uno conformado por Jaque Mate, el segundo por el resto de los fungicidas orgánicos y el tercer grupo solo con el testigo. Noles, (2020) indicó a su vez el buen control realizado por Progranic Cinnacar en Arenillas, presentando otra visión positiva de este producto en diferentes ambientes.

Igualmente, a los 21 dda se conformaron tres grupos, pero con ligeros cambios, Jaque Mate continuó hasta los 28 dds con el mayor control de SN al presentar la menor evolución de la severidad. Le siguieron Progranic Mega y Progranic Cinnacar, los cuales se separaron a los 28 dda y ya para los 35 dda Progranic Mega presentó el menor valor de severidad (27,50%) y Progranic Cinnacar un control intermedio con 35% de evolución de la enfermedad (figura 6).

En tercer lugar, a los 21 dda Banole, Radix y el testigo presentaron valores de evolución de la enfermedad bastante cercanos, los cuales ese incrementaron, pero se mantuvieron cercanos a los 28 dda, ya a los 35 dda se separan, y el testigo presentó la mayor evolución de la enfermedad (56,25%) y Radix y Banole presentaron valores muy cercanos (figura 6).

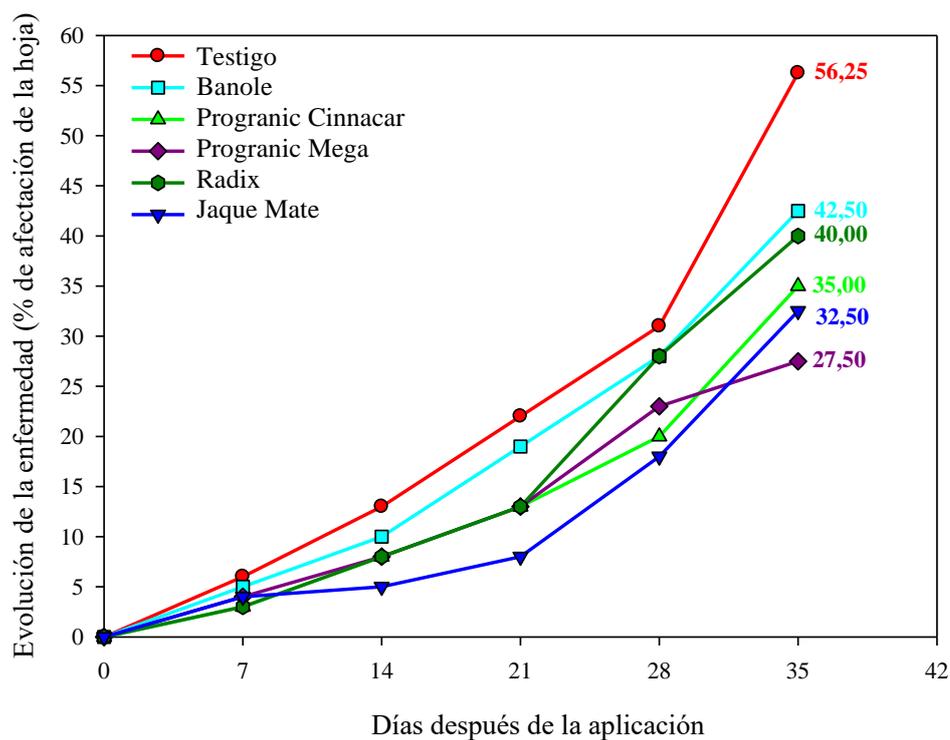


Figura 6. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época de lluvia. Metodología desarrollada por Fumipalma, S.A.

El menor índice de área bajo la curva del progreso de la enfermedad para la hoja 2 se observó con el tratamiento Jaque Mate con un índice de severidad de 462,00, estadísticamente igual a Progranic Mega, Progranic Cinnacar con 523,25 y 551,25 que fueron estadísticamente iguales entre sí, Radix y Banole sin diferencias entre ellos, con valores de AUDPC de 701,75 y 729,75, estos dos tratamientos compartieron similaridad estadística con el testigo que presentó un índice de severidad de 880,25 de AUDPC. Los tratamientos Jaque Mate, Progranic Mega y Progranic Cinnacar fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 7). Estos resultados con Jaque Mate, tienen similitud a los presentados por Barbosa (2014) haciendo evidente la efectividad del producto dentro de estos experimentos aplicados.

El nivel de severidad para Jaque Mate fue alto ( $\geq$  a 300 y  $<$  a 500), Progranic Mega y Progranic Cinnacar se ubicaron en el nivel de severidad alto y severo, mientras que Radix, Banole y el testigo presentaron valores por encima del nivel severo ( $\geq$  a 700).

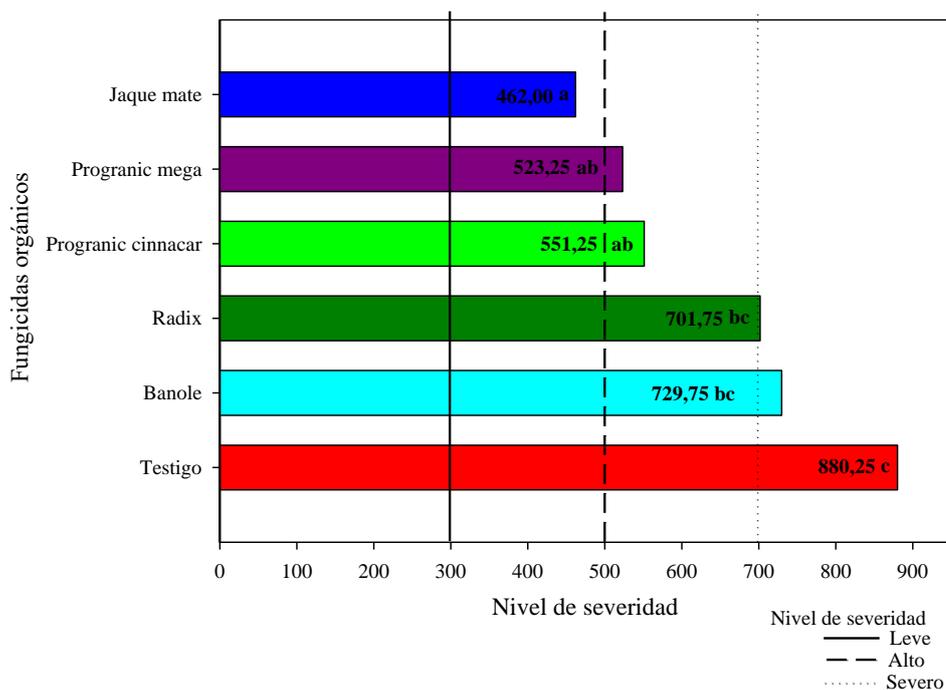


Figura 7. Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos.

A su vez, Marín *et al.* (2008) señalaron que en plátano con la aplicación de fungicidas químicos se presentó el menor índice de infección del área foliar, pero al utilizar extractos vegetales hubo

poca incidencia en la reducción de los índices de infección. No obstante, al culminar la investigación los índices de infección con los tratamientos de Limoncillo, Salvia, Limoncillo + Neem y Neem fueron inferiores al 30%, con lo que concluyeron que los extractos vegetales permitieron un control equivalente al de los fungicidas químicos, al reducir los ciclos de aplicación.

Coincidiendo con los resultados reportados por Polanco y Rivero (2004) señalando que las aplicaciones de *Momordica charantia* y *Plenax* sp. en dosis de 20 ppm en plantas de plátano, hubo un retraso de 12 a 15 días en el desarrollo de *M. fijiensis*. Igualmente, Arciniegas y Riveros (2002) encontraron que extractos de *Commelina difusa*, *M. charantia* y *Plenax* sp. *in vitro*, presentaron actividad antifúngica en la germinación de esporas y desarrollo de colonias de *M. fijiensis* siendo incluso más eficiente que Propiconazole.

Aplicación de extractos botánicos mediante la técnica de hoja simple para el control de Sigatoka negra (*M. fijiensis* Morelet) en el cultivo de banano (*Musa* sp. AAA), en época seca, Isaza (2007) indicó que la mayoría de los extractos botánicos utilizados presentaron compuestos polifenólicos y taninos los cuales tienen propiedades antifúngicas que beneficiaron el control de patógenos.

Los tratamientos con menor cantidad de área afectada en la hoja 1 fueron Progranic Cinnacar + Volley (4,3%), seguido de Progranic Mega + Volley (4,9%) y Jaque Mate + Volley (8,3%), luego con un valor de daño medio PK-50 (25,1%) y finalmente el testigo que presentó 77,8% de área foliar afectada por la enfermedad (Figura 8).

El menor índice de área bajo la curva del progreso de la enfermedad para la hoja 1 lo obtuvieron los tratamientos Progranic Cinnacar + Volley y Progranic + Volley con 40,43 y 42,22; seguido de Jaque Mate + Volley con 71,09; que fueron estadísticamente iguales entre sí; este último fue estadísticamente similar a PK-50 cuyo valor de AUDPC fue de 207,1. Todos los tratamientos fueron estadísticamente diferentes al testigo, que a su vez presentó el valor más alto con 672,66 (Figura 9). Estos resultados indican la eficiencia que presenta la aplicación de fungicidas orgánicos son comparables a un sintético (Cabrera et al., 2016), promoviendo si se controla a tiempo una mayor eficiencia en el cultivo, por ende, baso en estos resultados todos los tratamientos permiten realizar un control eficiente de Sigatoka negra en el cultivo de banano. Portillo (2017) señaló lo eficiente que tienden ser los productos orgánicos en el control de Sigatoka negra.

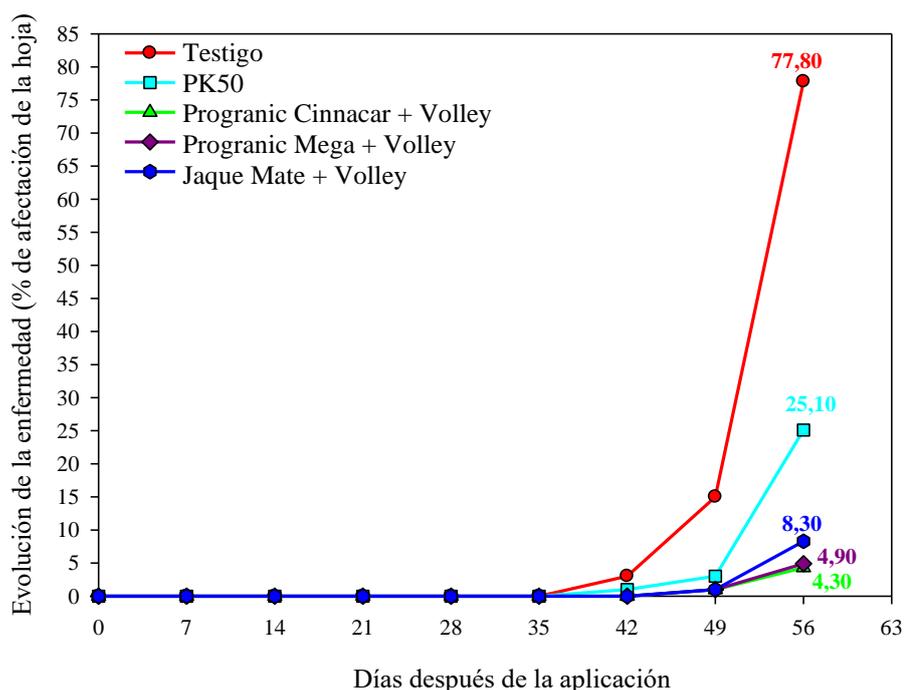


Figura 8. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia de Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época seca. Metodología desarrollada por Fumipalma, S.A

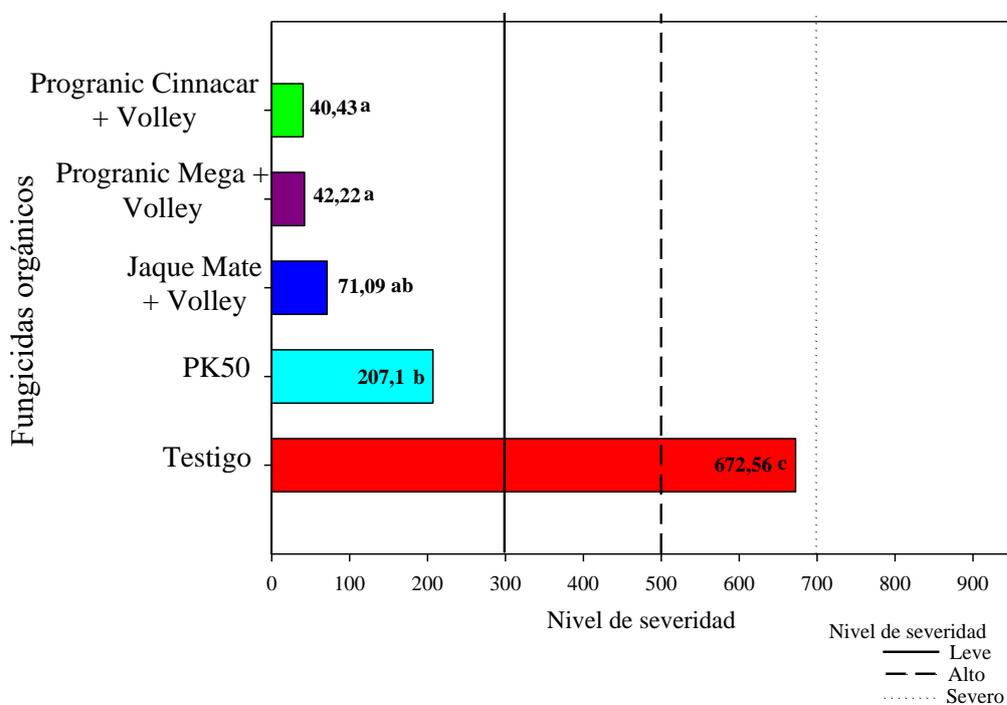


Figura 9. Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 1 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos

Los tratamientos con menor cantidad de área afectada fueron Progranic Mega + Volley con 13,05%, seguido de Progranic Cinnacar + Volley con 14,01%, Jaque Mate + Volley con 20,01% y PK-50 con 56,63%, finalmente el testigo presentó 96,26% de área afectada por la enfermedad (Figura 10).

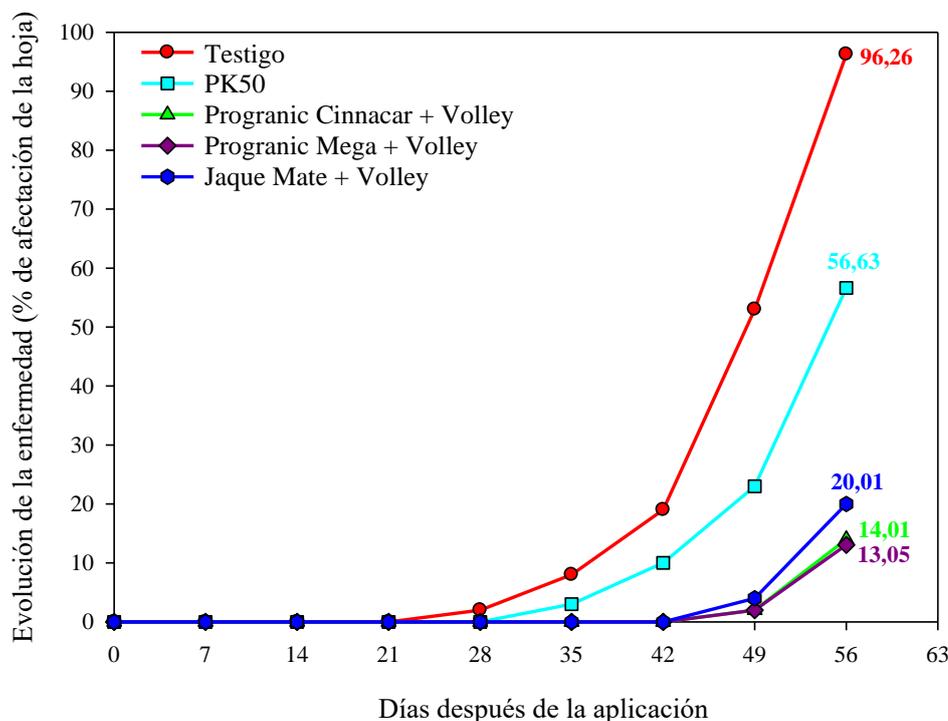


Figura 10. Evolución de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos, en época seca. Metodología desarrollada por Fulmipalma, S.A.

Los menores índices de área bajo la curva del progreso de la enfermedad lo obtuvieron los tratamientos Progranic Mega + Volley (110,99), Progranic Cinnacar + Volley (116,01) y Jaque Mate + Volley (168,17); que fueron estadísticamente iguales entre sí y diferentes a PK-50 y al testigo que presentaron 640,71 y 1241,63 de AUDPC (Figura 11).

Es interesante destacar que aun cuando en el periodo seco el desarrollo de la enfermedad en la hoja 1 inicia aun en el testigo a los 42 días y en las plantas tratadas a los 49 días, la severidad al compararla en la misma hoja durante el periodo lluvioso; sin embargo, en la hoja 2 el inicio de la enfermedad empieza a incrementarse a partir de los 28 dda, a excepción del testigo que inicia a los 21 días.

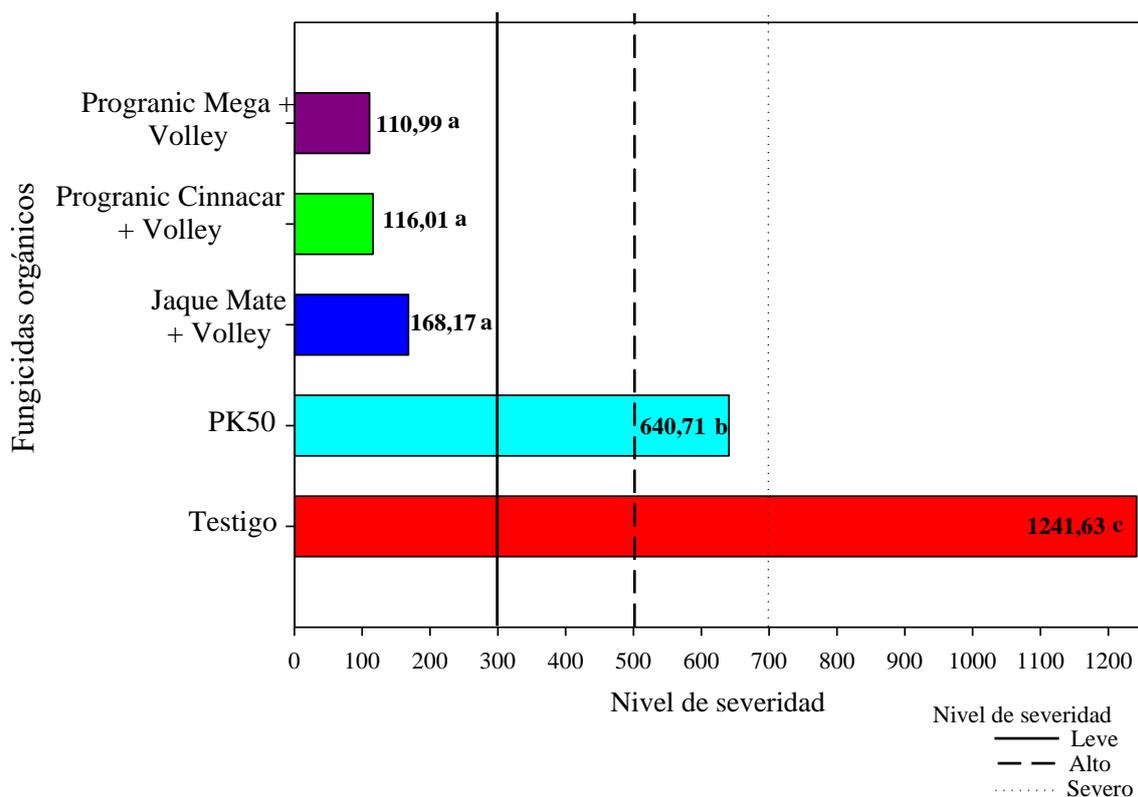


Figura 11 Índice del área bajo la curva del progreso de Sigatoka negra en la hoja 2 de plantas obtenidas *in vitro* del cv. Williams, sembradas en el área experimental de Fumipalma, S.A., Puerto Inca, provincia del Guayas, Ecuador, tratadas con fungicidas orgánicos

En la época seca, quizás influenciado por mayores temperaturas, mientras que, en la época de lluvia, estaría influenciado la presencia más temprana del hongo por la alta humedad relativa (HR) y temperatura. Así se corroboraron los supuestos de Rosales-Manzo et al. (2020) los cuales mencionaron que a mayor HR y temperatura, fue mayor la tasa de incidencia de Sigatoka negra sobre el cultivo de banano, por ende, el control en esta estación climática debe iniciar más pronto en el desarrollo del cultivo, con el fin de evitar daños en la producción y productividad de las fincas bananeras (Hidalgo et al., 2006).

Las condiciones climáticas (temperatura cálida y alta precipitación) del agroecosistema de Camerún, proporcionan un ambiente adecuado para la proliferación, multiplicación y propagación de las esporas de Sigatoka negra. La susceptibilidad de los bananos a este hongo depende de muchos factores previos a la cosecha, como el tipo de cultivo de banano utilizado, la etapa fisiológica de crecimiento de la planta (período del ciclo), el tipo de suelo utilizado y la temporada del año (Ewané et al., 2020c).

Esto implica, que las condiciones ambientales tienen un marcado efecto sobre el nivel de infestación y daño en el cultivo. No obstante, la realización de algunas prácticas habituales para el control, como el deshojado mecánico no es efectivo durante el período de alta presión (época de lluvias) y el uso de fungicidas convencionales ha provocado la rápida aparición de resistencias a los fungicidas, lo que ha conducido a un aumento significativo en el costo del control de enfermedades, pero, sobre todo, a aumento de los efectos negativos para el ambiente y la salud (de Lapeyre et al., 2010).

El bioplaguicida basado en *T. diversifolia* influyó significativamente en el crecimiento micelial *in vitro* de *Mycosphaerella fijiensis* en medio PDA en comparación con el testigo. Ewané et al. (2020c) observaron una inhibición de aproximadamente el 50% en el desarrollo de *M. fijiensis* y el crecimiento fue observado a partir del día 12 después de haber colocado el producto en los micelios que crecieron en medio PDA. Posteriormente, especialmente en el día 18, observaron una desaceleración en el desarrollo de *M. fijiensis* en presencia del bioplaguicida, lo cual concordó con lo encontrado por Onautshu (2013) los cuales indicaron que el desarrollo del hongo fue muy lento, promediando 1 cm después de 38 días.

Estos resultados también sugirieron que el bioplaguicida se difundió lentamente al establecerlos en la placa de Petri, con el fin de inducir su bioactividad, con lo cual se confirmó el efecto fungistático de los metabolitos secundarios contenidos en el bioplaguicida basado en *T. diversifolia* sobre la tasa de crecimiento micelial; coincidiendo además, con los resultados indicados por Diby et al. (2015) que demostraron que los extractos de *T. diversifolia* fueron ricos en taninos y sesquiterpenos, esto podría haber influido en la disminución de la tasa de crecimiento del hongo.

Por otro lado, es importante resaltar que los bioplaguicidas pueden reducir el riesgo a la salud humana y tener impactos negativos menores en el ambiente que los fungicidas químicos y son aceptables para su uso en agricultura orgánica (de la Cruz Quiroz et al., 2019). Además, los bioplaguicidas a menudo actúan contra el patógeno a través de múltiples modos de acción directos e indirectos, por lo que tienen el potencial de reducir el riesgo de desarrollo de resistencia de los patógenos (Ons et al., 2020).

Los resultados obtenidos por Becker et al. (2021) tanto en la estación seca como en la lluviosa sugirieron que es posible sustituir el 25% de los fungicidas químicos tradicionales utilizados en los programas de manejo de la Sigatoka negra en Costa Rica (clorotalonil y mancozeb), por el pesticida biológico *Bacillus subtilis* o Agro-Mos® (extracto de *Saccharomyces cerevisiae*) con

un control similar de Sigatoka negra. Se obtuvieron resultados de severidad de la enfermedad similares con las aplicaciones de esporas de *B. subtilis* y Agro-Mos® al compararlas con el testigo positivo durante los períodos 3 y 4 de la prueba (semanas 11-15 y de la 16-20, respectivamente) en la estación húmeda, con precipitaciones superiores al promedio para el área. Esto sugiere que estos tratamientos aún fueron efectivos en condiciones climáticas desafiantes para controlar la Sigatoka negra.

## **CONCLUSIÓN**

La técnica de hoja simple o single leaf test (SLT), determina que los fungicidas orgánicos Progranic Cinnacar, Progranic Mega y Jaque Mate presentan los mejores controles sobre Sigatoka negra en hoja 1 y hoja 2, mientras que el testigo presenta los mayores daños, tanto en la época lluviosa como en la seca, representando una alternativa viable para el control de Sigatoka negra en bananos.

## **RECOMENDACIONES**

Acorde a la obtención de datos finales en el presente trabajo experimental se debe considerar lo siguiente:

- Realizar seguimiento continuo para medir la resistencia del hongo.
- Evaluar periódicamente los fungicidas orgánicos con mejores resultados para verificar su sensibilidad ante la mutación o futuros ataques de la enfermedad.
- Recomendar el uso de biofungicidas para que ingresen en los diferentes programas de control de Sigatoka negra y tener más opciones de rotación de moléculas.
- Fomentar el uso de productos botánicos para mitigar el impacto de los fungicidas de síntesis química utilizados de manera tradicional.
- La aplicación de productos elicitors dentro de los programas de fumigación son parte fundamental ya que ayudan a la auto defensa de las plantas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alakonya, A.E., Kimunyeb, J., Mahukuc, G., Amaha, D., Uwimanab, B., Brownd, A., & Swennend, R. (2018). Progress in understanding *Pseudocercospora* banana pathogens and the development of resistant *Musa* germplasm. *Plant Pathology*, 67(4), 759-770.
- Altendorf, S. (2019). *Bananas and major tropical fruits in Latin America and the Caribbean. The significance of the region to world supply*. p. 73-76. Food Outlook. Tropical Fruits Article. Special Feature. <http://www.fao.org/3/ca4526en/ca4526en.pdf>.
- Altieri, M.A. & Nicholls, C.I. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*, 3, 7-24.
- Amorim, E.P., Santos-Serejo, J.A., Amorim, V.B.O., Ferreira, C.F. & Silva, S. (2013). Banana breeding at Embrapa cassava and fruits. *Acta Horticulturae*, 986, 171-176.
- Arciniegas, A., & Riveros, A. (2002). *Efecto de extractos vegetales sobre el desarrollo in vitro de Mycosphaerella fijiensis, agente causal de la Sigatoka negra en Musáceas*. Memorias XV Reunión Internacional ACORBAT, Cartagena. 617 p.
- Arzate-Vega, J., Michel-Aceves, A.C., Domínguez-Márquez, V.M. & Santos-Eméstica, O.A. (2006). Antagonismo de *Trichoderma* spp., sobre *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agente causal de la sigatoka negra del plátano (*Musa* sp.) *in vitro* e invernadero. *Rev. Mex. Fitopatol.*, 24, 98-104.
- Asociación de Comercialización y Exportación de Banano (ACORBANEC). (2021). Análisis de las exportaciones de banano del Ecuador: de enero a diciembre del 2020. 17 p. Disponible en: <http://www.acorbanec.com/wp-content/uploads/2021/01/10-EVOLUCION-DE-EXPORTACIONES-ECUATORIANAS-DE-BANANO-A-DICIEMBRE-DE-2020.pdf>.
- Barbosa Da Silva, A. (2014). *Caracterização antibacteriana, química e fitoquímica de flores de Hibiscus rosa-sinensis L.(mimo-de-vênus) e Hibiscus syriacus L.(hibisco-da-síria) como fonte de alimento*. (Tesis de Maestría, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sur. 106 p.
- Bebber, D.P., Ramotowski, M.A.T. & Gurr, S.J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nat. Clim. Chang*, 3(11), 985-988. <https://doi.org/10.1038/nclimate1990>.

- Becker, P., Esker, P. & Umana, 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*, 146:105657. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105657>
- Borja, J. (2016). La producción de banano bajo el sistema de comercio justo: un análisis del caso ecuatoriano. *Siembra*, 3(1), 7-10.
- Butler, D. (2013). Fungus threatens top banana. *Nature*, 504(7479), 195-196. <https://doi.org/10.1038/504195a>.
- Cabrera Verdezoto, R. P., Morán Morán, J. J., Mora Velasquez, B. J., Molina Triviño, H. M., Moncayo Carreño, O. F., Díaz Ocampo, E., & Cabrera Verdesoto, C. A. (2016). Evaluación de dos insecticidas naturales y un químico en el control de plagas en el cultivo de frejol en el litoral ecuatoriano. *Idesia*, 34(5), 27-35.
- Caicedo-Camposano, O., Soplín-Villacorta, H., Balmaseda-Espinosa, C., Cadena-Piedrahita, L., & Leyva-Vázquez, M. (2020). Sustentabilidad de sistemas de producción de banano (*Musa paradisiaca* AAA) EN BABAHOYO, Ecuador. *Investigación Operacional*, 41(3), 379-388.
- Calle, H., & Yangali, J. (2014). La Sigatoka Negra en el Ecuador. En: I Seminario Internacional Metodología para la evaluación de prueba de eficacia para plaguicidas en los principales cultivos del Ecuador. SAGAT. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2014/12/PresentacionSigatokaH-Calle-JYangali.pdf>
- Capa Benítez, L. B., Alaña Castillo, T. P., & Benítez Narváez, R. M. (2016). Importancia de la producción de banano orgánico.: caso: provincia el oro, ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 64-71.
- Cedeño, G., Suarez, C., Vera, D., Fadda, C., & Jarvis, D. (2017). Early detection of resistance to *Mycosphaerella fijiensis* in local genotypes of *Musa* in Ecuador. *Scientia Agropecuaria*, 8, 29-42. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.01.03>
- Cedeño-Zambrano, J. R., Díaz-Barrios, E. J., Conde-López, E., Cervantes Álava, A. R., Avellán-Vásquez, L. E., Zambrano-Mendoza, M. E., Tobar-Gálvez, 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 Ingeniería LUZ.*, 44(1), 4-11.

Cervantes-Álava, A.R., Sánchez-Urdaneta, A.B., & Colmenares de Ortega, C.B. (2019). Efecto de las aplicaciones de fungicidas comerciales sobre el contenido de clorofila en el cultivo de banano (*Musa* AAA). *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 45-49.

Cervantes-Álava, A.R., Sánchez-Urdaneta, A.B., Colmenares de Ortega, C.B. & Quevedo Guerrero, J.N. (2021). Sensibilidad *in vitro* de micelios de *Mycosphaerella fijiensis*, a fungicidas comerciales en *Musa* sp. (AAA). *Revista Agroecosistemas*, 9(1):6-10.

Childers, R., Danies, G., Myers, K., Fei, Z., Small, I.M. & Fry, W.E. (2015). Acquired resistance to mefenoxam in sensitive isolates of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology*, 105, 342-349. dx.DOI.org/10.1094/PHYTO-05-14-0148-R

Churchill, A.C.L. (2011) *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *Molecular Plant Pathology*, 12(4), 307-328.

Cline, WR. (2007). Global warming and agriculture. impact estimates by country, Washington: Centre for Global Development.

Cox, K.L., Babilonia, K., Wheeler, T., He, P., & Shan, L. (2019). Return of old foes — recurrence of bacterial blight and *Fusarium* wilt of cotton. *Curr Opin Plant Biol.*, 50, 95-103. doi:10.1016/j.pbi.2019.03.012

Crous, P.W., Groenewald, J.Z., Aptroot, A., Braun, U.X., & Carlier, J. (2003). *Integrating morphological and molecular data sets on Mycosphaerella, with specific reference to species occurring on Musa*. In: Proceedings Workshop on *Mycosphaerella* leaf spot diseases, 2002 may 20-23, San José. The International Network for the Improvement of Banana and Plantain. p.43-57.

de la Cruz Quiroz, R., Cruz Maldonado, J.J., Rostro Alanis, M. de J., Torres, J.A., & Parra Saldívar, R. (2019). Fungi-based biopesticides: shelf-life preservation technologies used in commercial products. *J. Pest. Sci.*, 92, 1003-1015. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01117-5>.

de Lapeyre de Bellaire, L., Fouré, E., Abadie, C. & Carlier, J. (2010). Black Leaf Streak Disease Is Challenging the Banana Industry. *Fruits*, 65, 327-342.

Diaz-Trujillo, C., Chong, P., Stergiopoulos, I., Cordovez, V., Guzman, M., De Wit, P.J.G.M., Meijer, H.J.G., Scalliet, G., Sierotzki, H., Peralta, E.L., Isaza, R.E.A., & Kema, G.H.J. (2018).

A new mechanism for reduced sensitivity to demethylationinhibitor fungicides in the fungal banana black Sigatoka pathogen *Pseudocercospora fijiensis*. *Molecular Plant Pathology*, 19(6), 1491-1503.

De Schutter, O. (2010). *Promotion and protection of all human rights, civil, political, economic, social and cultural rights, including the right to development*. Report submitted by the Special Rapporteur of UNESCO on the right to food. New York: United Nations General Assembly. Sixteenth session. Agenda item 3. Disponible en: [http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20110308\\_a-hrc-16-49\\_agroecology\\_en.pdf](http://www.srfood.org/images/stories/pdf/officialreports/20110308_a-hrc-16-49_agroecology_en.pdf).

Diby, Y. K. S., Tahiri, Y. A., Akpesse, A. A. M., Trabi, C. S. & Kouassi, K. P. (2015). Evaluation de l'effet insecticide de l'extrait aqueux de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Asteraceae) sur les termites en culture du riz (NERICA 1) au centre de la Cote d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 25, 3966-3976.

Ewané, C.A., Ange, M.C., Felix, N.E. & Boudjeko, T. (2020a). Influence of Cam shells and *Tithonia diversifolia* powder on growth of plantain PIF seedlings (var. French) and their sensitivity to *Mycosphaerella fijiensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 15, 393-411. <https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14486>

Ewané, C.A., Meshuneke, A., Tatsegouock, R.N. & Boudjeko, T. (2020b) Vertical layers of *Tithonia diversifolia* flakes amendment improves plantain seedling performance. *American Journal of Agricultural Research*, 5, 95.

Ewané, C.A., Tatsegouock, R.N., Meshuneke, A. & Niemenak, N. (2020c). Field efficacy of a biopesticide based on *Tithonia diversifolia* against Black Sigatoka disease of plantain (*Musa* spp., AAB). *Agricultural Sciences*, 11, 730-743.

Estrada Martínez, M. E., & Encalada Pardo, N. L. (2017). Producción de banano orgánico, una experiencia exitosa en La Sabana del cantón pasaje, provincia el Oro, Ecuador. *Agroecosistemas*, 5(1), 21-27.

Federación Ecuatoriana de Exportadores (Fedexpor). (2018). *Reporte mensual de comercio exterior*. Disponible en: <https://www.fedexpor.com/reportes-estadisticos/>.

Fisher, M.C., Henk, D.A., Briggs, C.J., Brownstein, J.S., Madoff, L.C., McCraw, S.L & Gurr, S.J. (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, 484, 186-194. <https://doi.org/10.1038/nature10947>

- Fullerton, R., & Olsen, T. (1995). Pathogenic variability in *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, cause of black sigatoka in banana and plantain. *New Zealand Journal of Crop and Horticulture Science*, 23(1), 39-48.
- Galarza Suárez, L. (2019). Tierra, trabajo y tóxicos: sobre la producción de un territorio bananero en la costa sur del Ecuador. *Estudios Atacameños*, 63, 341-364.
- García, R. y Pérez, R. (2003). Fitoalexinas: Mecanismo de defensa de las plantas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1):5-10.
- García Saltos, M. B., Juca Maldonado, F., & Juca Maldonado, O. M. (2016). Estudio de los eslabones de la cadena de valor del banano en la provincia de El Oro. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 51-57
- García, B. L. M., Vicente, L. P., Aballe, Á. G. P., Ponciano, I., Nicao, M. E. L., Triana, E. L. M., & Torres, Y. S. (2007). El monitoreo y manejo de la resistencia a los fungicidas en Cuba. *Fitosanidad*, 11(3), 91-100
- Guillén Sánchez, D., Hernández Pérez, R., Andrade Rodríguez, M., López Martínez, V., Alía Tejacal, I., & Juárez López, P. (2018). Eficacia de seis fungicidas sobre *Mycosphaerella citri* en naranja 'Valencia' en el estado mexicano de Morelos. *Centro Agrícola*, 45(1), 5-13.
- Gutiérrez-Jiménez, E., Pedroza-Sandoval, A., Martínez-Bolaños, L., Samaniego-Gaxiola, J. A. y García-González, F. (2018). Efecto de aceites naturales contra *Mycosphaerella fijiensis* en condiciones in vitro y detección de fitoquímicos activos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36(1), 141-150.
- Hahn, M. (2014). The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: botrytis as a case study. *J. Chem. Biol.*, 7, 133-141. <https://doi.org/10.1007/s12154-014-0113-1>.
- 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. *J. Selva Andina Biosph.*, 4(2), 59-70.
- Hidalgo, M., Tapia, A., Rodríguez, W. & Serrano, E. (2006). Efecto de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) sobre la fotosíntesis y transpiración foliar del banano (*Musa* sp. AAA, cv. Valery). *Agronomía Costarricense*, 30(1), 35-41.
- Isaza, J. H. (2007). Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia et Technica*, 33(1), 13-18.

- Jaramillo, E., Barrezueta-Unda, S., Luna, E., & Castillo, S. (2017). In vitro evaluation of the Aloe vera gel on *Mycosphaerella fijiensis*, causative agent of black Sigatoka disease in *Musa* (AAA). *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 273-278. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.10>
- Kerebba, N., Oyedeji, A. O., Byamukama, R., Kuria, S. K. & Oyedeji, O. O. (2019). Pesticidal activity of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray and *Tephrosia vogelii* (Hook f.); phytochemical isolation and characterization: A review. *South African Journal of Botany*, 121, 366-376.
- Lafargue, P. (2015). *Propuesta de un modelo matemático para la predicción del efecto de aplicación por inyección de bioestimulantes y fertilización avanzada al sistema vascular en el cultivo de plátano Barraganete (Musa paradisiaca AAB)*. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ingeniería y Ciencia Agropecuaria, Colombia. 99 p.
- León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., & Portalanza-Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 97–114. <https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324>
- León Serrano, L., Arcaya Sisalima, M., Barbotó Velásquez, N., & Bermeo Pineda, Y. (2021). Ecuador: Análisis comparativo de las exportaciones de banano orgánico y convencional e incidencia en la balanza comercial, 2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(2), 38-46. DOI: [10.26423/rctu.v7i2.521](https://doi.org/10.26423/rctu.v7i2.521)
- Manzo-Sánchez, G., Orozco-Santos, M., Martínez-Bolaños, L., Garrido-Ramírez, E., & Canto-Canche, B. (2014). Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa* sp.) en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32(2), 89-107.
- Marín, O.J., Mass, M.J., Barrera, J.L., & Robles, J. (2008). Evaluación de extractos vegetales para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plátano en Tierralta-Córdoba. *TEMAS AGRARIOS*, 13(1), 25-31.
- Marín, O., Mass, J., Barrera, L., & Robles, J. (2009). Evaluación de extractos vegetales para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plátano en Tierralta - Córdoba. *Temas Agrarios*, 13(1):25 – 31. DOI: <https://doi.org/10.21897/rta.v13i1.661>.

Martillo, E.E., & Solano, P. (2003). *Situación de la Sigatoka negra en el Ecuador*. En: Rivas, G., Rosales F. (Eds.). Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. p. 13-18.

Meshuneke, A., Ewané, C.A., Tatsegouock, R.N. & Boudjeko, T. (2020) *Tithonia diversifolia* Mulch Stimulates the Growth of Plantain PIF Seedlings and Induces a Less Susceptibility to *Mycosphaerella fijiensis* in the Nursery. *American Journal of Plant Science*, 11, 672-692. <https://doi.org/10.4236/ajps.2020.115050>

Michel-Aceves, A.C., Otero-Sánchez, M.A., Martínez-Rojero, R.D., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., & Rebolledo-Martínez, A. (2008). Control biológico *in vitro* de enfermedades fungosas en tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 12(3), 55-68.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *Fortalecimiento de pequeños productores de banano orgánico; integración de actores, manejo sostenible de plagas y estrategias de salud de los suelos*. Proyecto INIAP.

Monreri Laboratorio Agrícola. (2008). Monreri Laboratorio Agrícola. Disponible en: <http://www.monreri.com/ensayos.html>

Mur, L.A.J., Simpson, C., Kumari, A., Gupta, A.K. & Gupta, K.J. (2016). Moving nitrogen to the centre of plant defence against pathogens. *Annals of Botany*, 119, 703-709. <https://doi.org/10.1093/aob/mcw179>

Musyimi, D. M., Kahihu, S. W., Buyela, D. K. & SikukuHemsley, P. A. (2012) Allelopathic effects of mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray] on germination and growth of spider plant (*Cleome gynandra* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 2, 26-35.

Noles Rogel, A. M. (2020). *Evaluación de productos orgánicos sobre Sigatoka Negra *Mycosphaerella fijiensis* en la zona Arenillas, provincia El Oro*. (Bachelor's thesis). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Guayaquil.

Oerke, E.C. (2006). Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.*, 104(1), 31-43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

Onautshu, O. D. (2013). *Caractérisation des populations de *Mycosphaerella fijiensis* et épidémiologie de la cercosporiose noire du bananier (*Musa spp.*) dans la région de Kisangani*

République Démocratique du Congo. Thèse de Doctorat ès Science, Université Catholique de Louvain.

Ons, L., Bylemans, D., Thevissen, K. & Cammue, B.P.A. (2020). Combining biocontrol agents with chemical fungicides for integrated plant fungal disease control. *Microorganisms*, 8, 1930. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121930>.

Onyilo, F., Tusiime, G., Tripathi, J.N., Chen, L.H., Falk, B., Stergiopoulos, L., Tushemereirwe, W., Kubiriba, J., & Tripathi, L. (2018). Silencing of the mitogen-activated protein kinases (MAPK) *Fus3* and *Slt2* in *Pseudocercospora fijiensis* reduces growth and virulence on host plants. *Frontiers in Plant Science*. 9, 291.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *Análisis del mercado del banano: resultados preliminares 2019*. Roma. Disponible en <http://www.fao.org/3/ca7567es/CA7567ES.pdf>. Fecha de consulta: diciembre 2020.

Orozco-Santos, M., Orozco-Romero, J., Pérez-Zamora, O., Manzo-Sánchez, G., Farías-Larios, J. & Moraes, W. D. S. (2008). Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*, 33, 189-196.

Patiño H., L.F., Bustamante R., E., & Salazar P., L.M. (2007). Efecto de sustratos foliares sobre la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano (*Musa × paradisiaca* L.) y plátano (*Musa acuminata* Colla). *Agricultura Técnica*. 67(4), 437-445.

Pérez, L., Álvarez, J.M. & Pérez, M. (2002). *Economic impact and management of black leaf streak disease in Cuba, Mycosphaerella leaf spot diseases of bananas: Present status and outlook*. p. 71-84. Proceedings of the 2nd. International Workshop on *Mycosphaerella* Leaf Spots Diseases, San José, Costa Rica.

Pérez Vicente, L. (2006). Manejo convencional y alternativo de la sigatoka negra en bananos: estado actual y perspectivas. *Fitosanidad*, 10(1), 55-72.

Polanco, D., & Riveros, A. (2004). *Evaluación en campo del potencial antifúngico de extractos de plantas sobre Mycosphaerella fijiensis en Banano*. Memorias XVI Reunión Internacional ACORBAT, Oaxaca, 282 p.

Portilla Loor, J. B. (2017). *Respuesta de las plantas de banano (Musa AAA Simmonds, cultivar Williams) a las aspersiones foliares de diferentes fungicidas en el control de sigatoka negra (Mycosphaerella finjiensis Morelet)*. (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).

- Quevedo, J., Infantes, C., & García, R. (2018). Efecto del uso predominante de fungicidas sistémicos para el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el área foliar del banano. *Revista Científica Agroecosistema*, 6(1), 128-136.
- Quintero, A. C., Cabrera, E. Á., & Zapata, J. C. (2011). Evaluación de resistencia de genotipos de plátano y banano a la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 64(1), 5853-5865.
- Rani, M., Tyagi, K. y Jha, G. (2020). Advancements in plant disease control strategies. p. 141-157. *In: Advancement in crop improvement techniques*. Tuteja, N., Tuteja, R., Passricha, N. y Saifi, S.K. (Eds.). Chapter 10. Elsevier.
- Raza, A., Razzaq, A., Saher Mehmood, S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y. & Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: a review. *Plants*, 8(2), 34. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>
- Reuveni, M., Barbier, M., & Viti, A.J. (2020). Essential tea tree oil as a tool to combat Black Sigatoka in banana. *Outlooks on Pest Management*, 31(4), 180-186.
- Rodríguez, R., Echeverría, L., & Torres, F. (2010). Evaluación en campo del inductor de fitoalexinas PF-5 en el control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano *Musa acuminata* AAA. *ACORBAT*, 10(10):447-562. DOI:10.13140/RG.2.1. 2546.0569
- Rodríguez, R., Echeverría, F. & Torres, F. (2011). *Congreso Nacional de Fitopatología Colombiana*. Instituto de Química, Grupo de Química Orgánica de Productos Naturales 1-15. DOI:10.13140/RG.2.1.1546.6320.
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B. & Tryjanowski, P. (2007). Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. pp. 79-131. *In: Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4-wg2- chapter1.pdf>.

Rodríguez Crespo, D. C. G., Aguirre León, L. G., & Chiriboga Calderón, F. (2016). La gestión ambiental empresarial, su función frente a los cambios climáticos globales. Camaroneras, caso: manglares de Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 8(3), 43-50.

Rosales-Manzo, D., García-Díaz, N., Ruiz-Tadeo, A., García-Virgen, J., & Farías-Mendoza, N. (2020). Sistema difuso Takagi-Sugeno para predecir el riesgo de propagación de Sigatoka Negra, *Mycosphaerella fijiensis* en el cultivo de plátano. *RIIT. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 8(44), 12-28.

Rufino, C. P. B., de Araújo, C. S., & Nogueira, S. R. (2018). Desafios na utilização do controle biológico de doenças de plantas na amazônia. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 5(1).

Sagder, J. (1995). *Manual operativo para el control de la Sigatoka negra del plátano Mycosphaerella fijiensis Morelet en México*. Dirección General de Sanidad Vegetal (México).

Sánchez-Urdaneta, A. B., Díaz-Barrios, E. J., Conde-López, E. de J., Cervantes-Álava, A. R., & Sánchez-Urdaneta, D. del C. (2021). Manejo de Sigatoka negra para la producción sostenible de plátano ‘Hartón’ en el Sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Revista Agroecosistemas*, 9(1):42-49.

Serrano, L. A. L., Toledo, E. E. B., & Benavides, J. T. V. (2020). Incidencia de los ingresos en la producción de banano, cantón santa Rosa. *Revista de Investigación Enlace Universitario*, 19(2), 51-59.

Soto, M. (2011). Situación y avances tecnológicos en la producción bananera mundial. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 13-28.

Suárez, C., Delgado, R. & Belezaca, C. (2003). Eficiencia de fungicidas biológicos y bioestimulantes para *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (Sigatoka negra) Barraganete común (*Musa* AAB). Latacunga. [https://www.researchgate.net/publication/236213823\\_Eficiencia\\_de\\_fungicidas\\_biologicos\\_y\\_bioestimulantes\\_para\\_el\\_control\\_de\\_Mycosphaerella\\_fijiensis\\_Morelet\\_Sigatoka\\_Negra\\_en\\_platano\\_Barraganete\\_Comun\\_Musa\\_AA\\_B](https://www.researchgate.net/publication/236213823_Eficiencia_de_fungicidas_biologicos_y_bioestimulantes_para_el_control_de_Mycosphaerella_fijiensis_Morelet_Sigatoka_Negra_en_platano_Barraganete_Comun_Musa_AA_B).

Tatsegouock, R.N., Ewane, C.A., Meshuneke, A. & Boudjeko, T. (2020). Plantain bananas PIF seedlings treatment with liquid extract of *Tithonia diversifolia* induces resistance to Black Sigatoka disease. *American Journal of Plant Science*, 11, 653-671.

Tuz Guncay, I. G. (2018). *Manejo integrado del cultivo de banano (Musa x paradisiaca L.) clon Williams, usando biocarbón y microorganismos eficientes*. (Tesis de Licenciatura) Universidad Técnica de Machala.

Umar, O. B., Alex, R. D. & Obukohwo, E. E. (2015). Phytochemical and proximate composition of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. *Annals Food Science and Technology*, 16, 195-200.

Vite Cevallos, H., Townsend Valencia, J., & Carvajal Romero, H. (2020). Big Data e Internet de las Cosas en la producción de banano orgánico. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(4), 192-200.

Weber, O.B., Garruti, D.S., Norões, N.P., & Silva, S.O.E. (2017). Performance of banana genotypes with resistance to black leaf streak disease in Northeastern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 52(3), 161-169.

Yáñez Bustamante, W. D., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., Herrera Reyes, S. N., & Luna Romero, Á. E. (2020). Determinación de la relación carga química grados Brix en hojas y frutos de banano clon Williams (*Musa x paradisiaca*). *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 421-430.

Yáñez Flores, D.X. (2018). *Balanza comercial ecuatoriana y sustitución de importaciones*. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/08/balanza-comercial-ecuador.html>

Zhiminaicela Cabrera, J. B., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (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.

Zhiminaicela-Cabrera, J., Bravo González, A., Quevedo Guerrero, J., Tuz Guncay, I., Garcia Batista, R. M., & Herrera Reyes, S. N. (2021). Ecuador libre de cultivos transgénicos: un enfoque desde la perspectiva agroecológica y jurídica. *LA TÉCNICA: REVISTA DE LAS AGROCIENCIAS*, 25. DOI: <https://doi.org/10.33936/lat%C3%A9cnica.v0i25.2615>

Zhiminaicela-Cabrera, J. B. Z., Quevedo-Guerrero, J. N., Reyes, S. N. H., Quinche, A. R. S., & Bermeo-Gualan, L. Y. (2020). ESTUDIO ETNOBOTÁNICO DE PLANTAS MEDICINALES E IMPORTANCIA DE CONSERVAR LAS ESPECIES VEGETALES

SILVESTRES DEL CANTÓN CHILLA, ECUADOR. *Ethnoscintia: Revista Brasileira de Etnobiologia e Etnoecologia*, 5(1).