



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MAESTRÍA EN AGRONOMÍA MENCIÓN PROTECCIÓN
EN VEGETAL

Proyecto de grado previo a la obtención
del título de Magister en Agronomía
Mención Protección Vegetal

TÍTULO DE PROYECTO

Eficiencia de fungicidas para el control de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet
en Banano (*Musa acuminata* AAA) en la provincia de Los Ríos

AUTORES

Luis Adrián Suarez García

Miguel Ángel Fuentes Fajardo

TUTOR

Dr. Carlos Belezaca Pinargote

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

- 2021 -

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado con mucho amor y esfuerzo a Dios por vernos ayudado a culminar esta investigación de tesis, también dedicamos este logro con mucho cariño y amor a nuestras familias, quienes han estado conmigo en todo momento brindándonos su inmenso amor, comprensión, apoyo y por confiar en nosotros y enseñarnos que la perseverancia y el esfuerzo son el camino del éxito; ustedes son la base de nuestra vida profesional y toda la vida les estaremos agradecidos. “Nuestro Triunfo es el de Ustedes”. A nuestros amigos y a todas esas personas que Dios ha puesto en el camino para culminar con éxito esta meta.

Con cariño

Luis Adrián Suarez García

Miguel Ángel Fuentes Fajardo

AGRADECIMIENTOS

Culminar con éxito el presente trabajo de tesis nos permite agradecerle una vez más a Dios el ser supremo que brindándonos la vida y salud ha permitido que continuemos alcanzando nuestras metas trazadas, a nuestros padres que siempre nos han ofrecido su apoyo incondicional y amor perdurable. Gracias a todos aquellos que con sus valiosos aportes, sabios consejos y constantes votos de confianza han aportado para que éste, que en un momento fue un reto, hoy con mucho sacrificio se convierte en una gran realidad, que nos permitirá seguir avanzando por el sendero del éxito.

Un agradecimiento especial para nuestro tutor Dr. Carlos Eulogio Belezaca Pinargote por su guía, apoyo y paciencia.

A la Empresa BASF, a los Ing. Cristhian Lara Msc., Ing. Edwin Cruz Ballas e Ing. Fernando Salazar Carranza, por su desinteresado apoyo y alto espíritu de colaboración quienes aportaron con sus conocimientos y experiencia profesional en el desarrollo de esta investigación.

A los profesores, expresamos profunda gratitud por los conocimientos y experiencias compartidas.

A nuestros compañeros de estudio por su amistad y buenos momentos compartidos.

INFORME DEL SISTEMA URKUND

El suscrito **Dr. Carlos Eulogio Belezaca Pinargote**, Docente de Posgrado de la Universidad Técnica de Babahoyo, certifica que la tesis de Maestría titulada “**Eficiencia de fungicidas para el control de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en Banano (*Musa acuminata* AAA) en la provincia de Los Ríos**”, perteneciente a los señores: Ing. Agr. Luis Adrián Suarez García e Ing. Agr. Miguel Ángel Fuentes Fajardo, Maestranes del programa de Maestría en Agronomía con Mención en Protección Vegetal, fue sometido a un análisis en la plataforma URKUND, donde presentó un 95% de originalidad y un 5 % de similitud con otros trabajos publicados, verificando las correcciones pertinentes y considerando el Reglamento de Titulación de Posgrado de la Universidad Técnica de Babahoyo.



Document Information

Analyzed document	Tesis para URKUND.docx (D110648605)
Submitted	7/21/2021 11:03:00 PM
Submitted by	Carlos Belezaca Pinargote
Submitter email	cbelezaca@uteq.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	cbelezaca.uteq@analysis.urkund.com

Sources included in the report

INDICE DE CONTENIDOS

TEMAS	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Origen del banano.....	7
2.2. Importancia del banano en Ecuador.....	7
2.3. Problemas fitosanitarios en plantaciones de banano Ecuatoriano.....	8
2.4. Sigatoka negra en América Latina y Ecuador.....	9
2.4.1. <i>Mycosphaerella fijiensis</i> Morelet.....	9
2.5. Importancia de la enfermedad.....	10
2.6. Manejo de la enfermedad.....	11
2.7. Control químico y generación de resistencia del hongo hacia los fungicidas..	12
2.8. Identificación y clasificación de los síntomas de la enfermedad.....	13
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Ubicación y descripción del área experimental.....	16
3.1.1. Experimento 1.....	16
3.1.1.1. Estrategias de manejo en bananeras con menor carga de fungicidas...	16
3.1.1.2. Estrategias de manejo en bananeras con de mayor carga de fungicidas.....	19
3.1.1.3. Monitoreo de la evolución de la enfermedad a nivel de campo.....	22
3.1.1.4. Costos de producción para el manejo de “Sigatoka negra”.....	22

3.1.2.	Experimento 2.....	22
3.1.2.1.	Monitoreo de la enfermedad a nivel de campo.....	23
3.2.	Tratamientos y diseño experimental.....	24
3.2.1.	Experimento 1.....	24
3.2.2.	Experimento 2.....	24
3.2.2.1	Información relevante sobre el Dron.....	26
3.3.	Análisis estadístico.....	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		28
4.1.	Resultados.....	29
4.1.1.	Experimento 1.....	29
4.1.1.1.	Progreso de la enfermedad en el tiempo.....	29
4.1.1.1.1.	Porcentaje de infección temprana en la cuarta hoja.....	29
4.1.1.1.2.	Porcentaje de infección temprana en la quinta hoja.....	31
4.1.1.1.3	Número total de hojas en plantas de tres metros de altura.....	33
4.1.1.1.4.	Número total de hojas en plantas de cero semanas.....	35
4.1.1.1.5.	Número total de hojas en plantas de once semanas.....	36
4.1.1.2.	Costos de producción por el manejo de la enfermedad “Sigatoka negra”	38
4.1.1.2.1.	Campaña de época lluviosa.....	38
4.1.1.2.2.	Campaña de época seca.....	39
4.1.1.2.3.	Ciclos de aplicación de fungicidas y dinero ahorrado (USD).....	40
4.1.2.	Experimento 2.....	41
4.1.2.1.	Periodo de protección (residualidad) de los fungicidas.....	41
4.1.2.2.	Número de hojas fotosintéticamente activas.....	55
4.2.	Discusión.....	56

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
5.1. Conclusiones.....	61
5.2. Recomendaciones.....	62
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA.....	63
6.1. Bibliografía.....	64
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	CONTENIDOS	Pág.
Tabla 1.	Lista de ingredientes activos antifúngicos empleados para el control de <i>M. fijiensis</i> en tres plantaciones de banano con la estrategia “menor carga de fungicidas”, durante cinco años.....	18
Tabla 2.	Lista de ingredientes activos antifúngicos empleados para el control de <i>M. fijiensis</i> en tres plantaciones de banano con la estrategia “mayor carga de fungicidas”, durante cinco años.....	20
Tabla 3.	Grupos de ingredientes activos antifúngicos (tratamientos) aplicados en plantas de banano variedad Williams para el control de <i>M. fijiensis</i> , causante de la enfermedad Sigatoka negra, con sus fechas de aplicación....	25
Tabla 4.	Número de ciclos, porcentaje y cantidad de dinero economizado (USD ha ⁻¹ años) por la aplicación de modificaciones en la estrategia de manejo de fungicidas para el control de Sigatoka negra en banano. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones).....	41
Tabla 5	Tiempo de protección (residualidad) en días y porcentaje de área foliar afectada (AFA%) generada por la aplicación de cuatro tratamientos basados en fungicidas.....	54

Tabla 6	Número de hojas fotosintéticamente activas por planta de banano, al momento de la cosecha del racimo. Los valores representan el promedio de 25 plantas evaluadas, con su respectivo error estándar.....	55
---------	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	CONTENIDOS	Pág.
Figura 1.	Comparación del porcentaje de infección generado por el hongo <i>M. fijiensis</i> en la hoja número cuatro, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.....	29
Figura 2.	Evolución de la infección (porcentaje) generada por <i>M. fijiensis</i> en la cuarta hoja de banano, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	30
Figura 3.	Evolución de la infección (porcentaje) generada por <i>M. fijiensis</i> en la cuarta hoja de banano, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	30
Figura 4.	Comparación del porcentaje de infección generado por el hongo <i>M. fijiensis</i> en la hoja número cinco, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.....	31
Figura 5.	Evolución de la infección (porcentaje) generada por <i>M. fijiensis</i> en la quinta hoja de banano, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	32

Figura 6.	Evolución de la infección (porcentaje) generada por <i>M. fijiensis</i> en la quinta hoja de banano, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	32
Figura 7.	Comparación del número promedio de hojas en plantas de tres metros de altura, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.....	33
Figura 8.	Número promedio de hojas en plantas de tres metros de altura, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	34
Figura 9.	Número promedio de hojas en plantas de tres metros de altura, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	34
Figura 10.	Comparación del número promedio de hojas en plantas de cero semanas, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.....	35
Figura 11.	Número promedio de hojas en plantas de cero semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	36
Figura 12.	Número promedio de hojas en plantas de cero semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	36
Figura 13.	Comparación del número promedio de hojas en plantas de once semanas, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.....	37
Figura 14.	Número promedio de hojas en plantas de once semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	38

Figura 15.	Número promedio de hojas en plantas de once semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.....	38
Figura 16.	Costos (USD hectárea ⁻¹ año) generados por la aplicación de fungicidas para el control de Sigatoka negra en banano, bajo dos estrategias de manejo de la enfermedad en la estación climática lluviosa (campana de época lluviosa). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) con su respectiva desviación estándar.....	39
Figura 17.	Costos (USD hectárea ⁻¹ año) generados por la aplicación de fungicidas para el control de Sigatoka negra en banano, bajo dos estrategias de manejo de la enfermedad en la estación climática seca (campana de época seca). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) con su respectiva desviación estándar.....	40
Figura 18.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 127 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	42
Figura 19.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 120 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	42
Figura 20.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 125 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	43
Figura 21.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 137 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	44
Figura 22.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 158 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	45
Figura 23.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 156 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	46
Figura 24.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 147 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	47

Figura 25.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 140 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	48
Figura 26.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 131 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	48
Figura 27.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 122 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	49
Figura 28.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 115 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	50
Figura 29.	Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 107 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar...	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla No.	CONTENIDOS	Pág.
Figura A y B	Representación fotográfica y esquemática de los seis grados o niveles de la escala de Stover (1971), modificada por Gauhl (1990), con que se realizará la evaluación de la enfermedad sigatoka negra en banano.....	70

RESUMEN

El manejo de la enfermedad conocida como Sigatoka negra en banano, causada por el hongo ascomicete *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, es un verdadero problema para la producción sostenible del cultivo de banano en Ecuador, ya que su control representa actualmente entre el 20% y 30% de los costos de producción, debido a la gran cantidad de fungicidas que deben de usarse y el elevado número de ciclos de aplicación que demanda el control de la misma, anualmente, con los consecuentes impactos ambientales subyacentes. Con el propósito de establecer estrategias económicamente viables y ecológicamente sustentables para el manejo de la enfermedad, se planteó estudiar el uso de varias moléculas con capacidad antifúngica frente a *M. fijiensis* y frecuencias de aplicación en plantaciones comerciales productivas de banano, y una plantación experimental a nivel de plantilla. Se establecieron dos experimentos: A) Se comparó el efecto de dos estrategias de manejo (tratamientos) de *M. fijiensis*, basadas en la combinación de fungicidas sistémicos y protectantes con diferentes ingredientes activos, frecuencias de aplicación, rotación y números de ciclos al año. Para el efecto, se seleccionaron tres plantaciones que por varios años emplearon una estrategia basada en “menor carga de fungicidas” (Tabla 1), y tres plantaciones basadas en una “mayor carga de fungicidas” (Tabla 2), donde durante cinco años se avaluó semanalmente la infección temprana en la cuarta y quinta hoja, el número total de hojas en plantas de tres metros de altura, de cero semanas y once semanas. Adicionalmente, se analizó los costos de producción generados con cada estrategia. B) Se estudió el efecto de cuatro grupos de ingredientes activos antifúngicos (tratamientos), para lo cual se establecieron cuatro parcelas rectangulares de 720 m², dentro de las cuales se sembraron 62 plantas de banano variedad Williams, a las que se aplicó los fungicidas de acuerdo a los tratamientos. Se evaluó el porcentaje de área foliar afectada (AFA%) por la enfermedad, tiempo de protección/residualidad (días) ejercido por los ingredientes activos antifúngicos aplicados en las hojas desde el momento de la aplicación, hasta que la hoja deja de ser funcional, número de hojas fotosintéticamente activas o funcionales. La estrategia basada en una “menor carga de fungicidas” provocó menores porcentajes de infección durante los cinco años de evaluación. En la cuarta hoja se encontró una reducción del 81.0%, 77.1%, 87.3%, 100, y 67.7%, mientras que en la quinta hoja la reducción fue de 67.5%, 25.2%, 56.9%, 87,4%, y 19,7%, para los años 2015, 2016, 2017, 2018, y 2019, respectivamente, frente a los porcentajes de infección generados por la estrategia basada en una “mayor carga de

fungicidas”. Paralelamente, la estrategia basada en una “menor carga de fungicidas” generó valores superiores a la estrategia “mayor carga de fungicidas”, con diferencias de 3.7%, 1,4%, 2.1%, 4.2%, y 4.5% para el número de hojas en plantas de cero semanas de los años 2015, 2016, 2017, 2018, y 2019, mientras que en plantas de once semanas estas diferencias se dieron en los años 2015 y 2018, con 8.4%, y 6.3%, respectivamente. La reducción de los costos de producción (USD ha⁻¹ año) generados por la estrategia “menor carga de fungicidas” durante los cinco años que duró el estudio, estuvo dentro del rango del 25.7% (324.33 USD) a 42.8% (690.04 USD). Por otra parte, los ingredientes activos del grupo 1 de fungicidas (Epoconazole, Fenpropimorph, Metiram, Pyraclostrobin, Epoconazole, Boscalid, Diethofencarb) aplicados solos o en combinaciones durante 12 ciclos, generaron los menores porcentajes de AFA en los 12 ciclos de aplicación, con rangos de AFA% que fueron entre 1.8 a 4.9 veces, 1.3 a 5.1 veces, y 4.4 a 11.1 veces menores a los generados por los grupos 2, 3 y 4 (aceite agrícola) de fungicidas. Estos resultados dan cuenta que no hay uniformidad en la capacidad de control de cada grupo de ingredientes activos, y que por el contrario es común detectar esta variabilidad en el control de la enfermedad.

Palabras clave: Área foliar afectada (AFA%), hojas funcionales, infección temprana, residualidad, sigatoka negra.

ABSTRACT

The management of the disease known as Black Sigatoka in banana, caused by the ascomycete fungus *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, is a real problem for the sustainable production of banana cultivation in Ecuador, since its control currently represents between 20% and 30% of production costs, due to the large amount of fungicides that must be used and the high number of application cycles required to control it, annually, with the consequent underlying environmental impacts. In order to establish economically viable and ecologically sustainable strategies for the management of the disease, it was proposed to study the use of several molecules with antifungal capacity against *M. fijiensis* and application frequencies in productive commercial banana plantations, and an experimental plantation to template level. Two experiments were established: A) The effect of two management strategies (treatments) of *M. fijiensis* was compared, based on the combination of systemic fungicides and protectants with different active ingredients, application frequencies, rotation and number of cycles per year. For this purpose, three plantations were selected that for several years used a strategy based on "lower load of fungicides" (Table 1), and three plantations based on a "greater load of fungicides" (Table 2), where for five years early infection was evaluated weekly in the fourth and fifth leaf, the total number of leaves in plants of three meters in height, zero weeks and eleven weeks. Additionally, the production costs generated with each strategy were analyzed. B) The effect of four groups of antifungal active ingredients (treatments) was studied, for which four rectangular plots of 720 m² were established, within which 62 Williams variety banana plants were planted, to which the fungicides of according to the treatments. The percentage of leaf area affected (AFA%) by the disease, protection time / residuality (days) exerted by the antifungal active ingredients applied to the leaves from the moment of application, until the leaf ceases to be functional, was evaluated. number of photosynthetically active or functional leaves. The strategy based on a "lower load of fungicides" caused lower percentages of infection during the five years of evaluation. In the fourth sheet a reduction of 81.0%, 77.1%, 87.3%, 100, and 67.7% was found, while in the fifth sheet the reduction was 67.5%, 25.2%, 56.9%, 87.4%, and 19, 7%, for the years 2015, 2016, 2017, 2018, and 2019, respectively, compared to the percentages of infection generated by the strategy based on a "higher load of fungicides". At the same time, the strategy based on a "lower fungicide load" generated higher values than the "higher fungicide load" strategy, with differences of 3.7%, 1.4%, 2.1%, 4.2%, and 4.5% for the number of leaves in plants of zero weeks of the years 2015, 2016, 2017, 2018, and 2019, while in plants of eleven weeks these differences occurred in the years 2015 and 2018, with 8.4%, and 6.3%, respectively. The reduction in production costs (USD ha⁻¹ year) generated by the "lower fungicide load" strategy during the five years that the study lasted, was within the range of 25.7% (324.33 USD) to 42.8% (690.04 USD). On the other hand, the active

ingredients of group 1 of fungicides (Epoiconazole, Fenpropimorph, Metiram, Pyraclostrobin, Epoiconazole, Boscalid, Diethofencarb) applied alone or in combinations during 12 cycles, generated the lowest percentages of AFA in the 12 application cycles, with AFA % ranges that were between 1.8 to 4.9 times, 1.3 to 5.1 times, and 4.4 to 11.1 times lower than those generated by groups 2, 3 and 4 (agricultural oil) of fungicides. These results show that there is no uniformity in the control capacity of each group of active ingredients, and that on the contrary it is common to detect this variability in the control of the disease.

Key Words: Affected leaf area (AFA%), black sigatoka, early infection, functional leaves, residuality.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades foliares causadas por hongos son la mayor restricción biótica que limita el rendimiento y la calidad de las musáceas. En Ecuador, la enfermedad conocida como sigatoka negra en banano ocasionada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, puede causar epifitias que son rápidas y explosivas, generando pérdidas que pueden ser superiores al 30% (Cedeño-García *et al.*, 2017).

En Ecuador la aplicación de fungicidas es una práctica habitual para el manejo de sigatoka negra en banano, más aún, el uso de fungicidas resulta necesario porque en la zona tropical donde se lo cultiva predominan cultivares susceptibles con elevado potencial de rendimiento, todo esto, sumado a una elevada presión de inóculo del fitopatógeno derivado de adecuadas condiciones ambientales (precipitaciones y humedad relativa altas, temperaturas por encima de los 24°C, etc.), promueven el desarrollo de la enfermedad (Jaramillo-Aguilar *et al.*, 2017).

El propósito principal del uso de un fungicida foliar es proteger el rendimiento alcanzable de pérdidas ocasionadas por enfermedades foliares (Arregui & Puricelli, 2013). Sin embargo, los diferentes fungicidas pueden variar el nivel de control, dependiendo del agente causal, de su resistencia, de la especie vegetal, de las condiciones ambientales y de las medidas de manejo utilizadas. Diferencias de eficacia de control entre fungicidas pueden ser determinadas por comparación directa e indirecta (Daniels & Latin, 2013).

En este sentido, conocer la eficacia de fungicidas frente a *M. fijiensis* determinará el número correcto de aplicaciones secuenciales que se deben realizar, evitando un exceso de aplicaciones, respetando las dosis, y por consiguiente, disminuyendo la probabilidad de generar resistencia en el fitopatógeno. Es conocido que en los últimos años el desarrollo de nuevas moléculas antifúngicas con diferentes mecanismos de acción, es escasa, y por tanto, el riesgo de generar resistencia es elevado (Daniels & Latin, 2013).

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se sabe que en Ecuador se están aplicando un extenso grupo de fungicidas protectantes y sistémicos, generando aplicaciones que superan en promedio los 25 ciclos por año, basados principalmente en la falta de conocimiento de la dinámica de la enfermedad, inadecuado diagnóstico de preaviso biológico a nivel de campo, y la creencia que un mayor número de aplicaciones logrará mejorar el control del patógeno foliar, lo cual constituye un gran error que conlleva a aumentar los costos de producción en la industria bananera y lo más preocupante, podría gatillar la generación de resistencia de *M. fijiensis* frente a las moléculas antifúngicas disponibles actualmente (Sepúlveda, 2016).

Es conocido en protección vegetal que un mayor número de aplicaciones de fungicidas tienden a debilitar el sistema defensivo natural de las plantas, exponiéndolas a lesiones más severas causadas por el hongo, con el consecuente impacto ambiental (contaminación del suelo, sistemas hídricos, etc.) y afectaciones a la salud humana (Mena-Espino & Couoh-Uicab, 2015).

1.2. JUSTIFICACIÓN

La presencia de la enfermedad “sigatoka negra” en plantaciones de musáceas y en especial en banano ha generado un gran impacto económico, social y ambiental debido al incremento de gastos para el control del fitopatógeno causante de la misma y ha afectado considerablemente la economía de los productores por ser el rubro más caro en el manejo del cultivo.

En la zona central de la provincia de Los Ríos se realizan entre 18 a 32 ciclos de aplicaciones, con un promedio de 25 ciclos al año. Las causas del elevado número de aplicaciones son varias, provocando altos costos de producción, daños ambientales y probable resistencia del fitopatógenos hacia los fungicidas empleados repetitivamente para su control. Sin embargo, hay evidencia que mediante estrategias de manejo adecuadas y el uso de moléculas

antifúngicas eficientes es posible reducir significativamente el número de ciclos de aplicaciones anualmente. En esta investigación se pretende generar información técnico-científica válida que permita demostrar la posibilidad manejar de forma eficiente la infección provocada por *M. fijiensis* en banano, con un menor número de ciclos anuales.

En base a los antecedentes antes expuestos se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis que a continuación se detallan:

Objetivo General

Evaluar la eficiencia de fungicidas de diferentes grupos químicos e ingredientes activos para el control de Sigatoka negra causada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en fincas productoras de Banano (*Musa acuminata* AAA) en la provincia de Los Ríos.

Objetivos Específicos

- Estudiar la evolución de la enfermedad “sigatoka negra” en plantaciones de banano manejadas mediante aplicaciones de fungicidas con varios ingredientes activos recomendados por casas comerciales.
- Comparar el tiempo de protección (residualidad) y el número de hojas fotosintéticamente activas en plantas de banano posterior a aplicaciones de fungicidas con diferentes ingredientes activos recomendados por casas comerciales.
- Determinar los costos de producción generados por el manejo de la enfermedad “sigatoka negra” en plantaciones de banano manejadas mediante aplicaciones de fungicidas con varios ingredientes activos recomendados por casas comerciales.

Hipótesis

- H₁.** Estrategias de manejo y control de la enfermedad “sigatoka negra”, basadas en el conocimiento y empleo de fungicidas con ingredientes activos eficientes y mayor residualidad, reducirá hasta en un 30% el número de aplicaciones de fungicidas en plantaciones de banano en la zona central de la provincia de Los Ríos, con la consecuente reducción de los costos de producción.
- H₀.** Estrategias de manejo y control de la enfermedad “sigatoka negra”, basadas en el conocimiento y empleo de fungicidas con ingredientes activos eficientes y mayor residualidad, no generan una reducción significativa en el número de aplicaciones de fungicidas, ni en los costos de producción en plantaciones de banano de la zona central de la provincia de Los Ríos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Origen del banano

De acuerdo a Stover *et al.* (1987), *Musa acuminata* AAA, es una planta herbácea monocotiledónea, perteneciente a la familia Musáceas, ubicadas dentro del orden Escitamiáceas o Zingiberales. La cuna evolutiva del banano se ubica en el sudeste asiático, en la región que comprende varios países como India, Malasia, Indonesia, y Papua Nueva Guinea, siendo en este último país donde se ha registrado la evidencia más antigua de su cultivo y domesticación.

2.2. Importancia del banano en Ecuador

La importancia del cultivo de banano (*Musa* AAA) para Ecuador es tal que al año 2020 las exportaciones casi superan al petróleo, constituyendo la actividad agrícola de mayor importancia para la economía del país. Un tercio de las exportaciones mundiales se originan en Ecuador, lo cual representa aproximadamente un ingreso de 2000 millones de dólares americanos que ingresan a la economía del país, y alrededor de 100 millones de dólares por concepto de impuestos al estado. Los ingresos generados por la actividad bananera representan el 3.9% del PIB total, el 50% del PIB agrícola y el 20% de las exportaciones privadas del país.

El cultivo de banano y sus industrias colaterales, generan empleo para más de un millón de familias, representando alrededor de 2.5 millones de personas, equivalentes a aproximadamente el 15% de la población actual, que dependen de una u otra forma de la industria bananera. Ecuador exporta la fruta de banano a la Unión Europea (42%) USA (21%) Rusia (20%), Cono Sur (6%) como mercados principales y el 11% a mercados marginales (Cedeño-García *et al.*, 2017).

Estos resultados han demostrado que históricamente el Ecuador posee una clara ventaja comparativa en la producción de banano, de aquí la razón para haberse convertido en el mayor exportador mundial de banano, seguido únicamente por Filipinas y Costa Rica. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Ecuador por sí solo cubre más que una tercera parte de las exportaciones mundiales de banano, pues vende entre 80 y 85 millones de cajas, casi el 40 por ciento de su producción

total. Por tanto, Ecuador es el primer exportador de banano en el mundo, que produce la fruta de alta calidad, exquisito sabor y en cuya producción ha alcanzado estándares internacionales de protección medioambiental. En Ecuador, la exportación de banano se realiza durante todo el año debido a su ubicación en la línea Ecuatorial, que lo hace receptor de un clima tropical estable (Vásquez-Orozco, 2017).

2.3. Problemas fitosanitarios en plantaciones de banano Ecuatoriano

La gran mayoría de bananos ecuatorianos exportados pertenece a la variedad Cavendish y se produce en plantaciones de monocultivo con alta densidad de plantas, que lo vuelven muy susceptibles problemas fitosanitarios. Otro de los motivos de la elevada susceptibilidad a las enfermedades es que los bananos producidos comercialmente se obtienen de un número limitado de razas nativas que se reproducen asexualmente, lo que da a los bananos un reducido pool genético y hace que sean vulnerables a plagas y enfermedades (Elvehri, 2015).

En este contexto, el control de enfermedades con productos agroquímicos se ha convertido en la estrategia estándar para la actual producción comercial de bananos, con graves consecuencias negativas para el medio ambiente. Entre las más importantes enfermedades que actualmente afectan a los bananos figuran la sigatoka negra, el mal de Panamá y los nematodos. No obstante, la más grave de estas es la sigatoka negra ocasionada por el hongo ascomiceto *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, una enfermedad que disminuye la capacidad fotosintética del sistema foliar, reduce el tamaño de los frutos y provoca una maduración prematura, con la consiguiente reducción de los rendimientos y rechazo de la fruta exportada.

En el Ecuador, la sigatoka negra ha afectado a las plantaciones de banano desde finales de la década de 1980. Para el año 2012, la infestación fue particularmente grave, gatillada por las intensas lluvias de abril y mayo y por la presencia de muchas plantaciones abandonadas en las provincias de Los Ríos y Guayas. La infestación afectó económicamente a más de 70.000 hectáreas (Barreto-Macías *et al.*, 2019).

2.4. Sigatoka negra en América Latina y Ecuador

Es la enfermedad más importante que afecta la producción comercial de bananos y plátanos (*Musa* spp.) en la mayoría de regiones productoras del mundo (Jones, 2000). En el continente americano, se identificó por primera vez en Honduras en el año de 1972 (Stover y Dickson, 1976), de donde se diseminó a todos los países de América Central, México, América del Sur y el Caribe (Jones 2002; Guzmán, 2006). La enfermedad apareció en plantaciones de banano de Ecuador en el año 1987, específicamente en la hacienda “Timbre” ubicada en la provincia de Esmeraldas, y desde allí se diseminó a todas las plantaciones comerciales de musáceas del país (Cedeño-García *et al.*, 2017).

La sigatoka negra está considerada entre las ocho enfermedades que amenazan la seguridad alimentaria mundial y la del banano como principal especie frutícola tropical. El patógeno destruye el área foliar por efecto de la excreción de la fitotoxina "*juglone*" que interrumpe el transporte de electrones en las membranas del cloroplasto, provocando necrosis del tejido foliar (Amari *et al.*, 2011). Además, se ha demostrado la activación de genes por parte del hongo durante el proceso patogénico con musáceas (Noar & Daub, 2016). La enfermedad reduce significativamente la eficiencia fotosintética y, en consecuencia, afecta el llenado de frutos, reduce el tamaño y peso del racimo con la consiguiente merma en la producción del cultivo (Hidalgo *et al.*, 2006). La enfermedad también se manifiesta en la maduración prematura de frutos en campo o en el trayecto a mercados de destino, dando lugar a una pulpa color cremosa, que representa el principal riesgo de pérdida al que se enfrentan productores y exportadores de la fruta (Guzmán *et al.*, 2013). Esto como consecuencia del reducido número de hojas funcionales a floración y cosecha (Rodríguez *et al.*, 2012).

2.4.1. *Mycosphaerella fijiensis* Morelet

Es un hongo heterotálico cuya fase anamorfa es *Pseudocercospora fijiensis* (Morelet) Deighton. Posee la capacidad de reproducirse de forma sexual y asexual. El estado sexual, se caracteriza por la formación de pseudotecios, espermagonios y ascosporas. El pseudotecio y espermagonio ocurren en proporciones variables durante los estados 2 y 3 de la enfermedad. Los espermagonios constituyen la parte masculina, son más abundantes sobre el envés de la hoja y producen los espermacios que actúan como gametos para fertilizar a los

pseudotecios que aparecen en los estados de mancha 5 y 6 (Jones, 2000). Los pseudotecios son anfigenos, globosos con un ostiolo esférico papilado, ligeramente errumpente, de paredes pardo oscuras y células poligonales. Cuando ocurre la fertilización se desarrollan ascas bitunicadas. Una vez realizada la fertilización, se desarrollan en su interior las ascas que contienen ocho ascosporas cada una. Las ascosporas son hialinas, fusiformes, clavadas, con dos células y una ligera constricción al nivel del septo. El tamaño de las ascosporas es de 11.5 a 15.6 x 2.5 a 5.0 μm con un promedio de 13.7 x 3.7 μm . Los conidios son obclavados a cilindro-obclavados, rectos o curvados, de hialino a oliváceo pálido, con 1 a 10 septos y con un hilio basal distintivo (cicatriz). Miden entre 30 a 132 μm de longitud por 2.5 a 5.0 μm en la parte más ancha (Mourichon & Fullerton, 1990).

2.5. Importancia de la enfermedad

La sigatoka negra es la enfermedad más importante que afecta el follaje de la mayoría de los cultivares de bananos y plátanos en casi todas las regiones productoras del planeta. La severidad de este patógeno se manifiesta en los sistemas de producción de musáceas, donde la reproducción asexual y el cultivo de un clon genéticamente uniforme en grandes extensiones de tierra lo hace altamente vulnerable a ataques epidémicos de la enfermedad (Rodríguez *et al.*, 2012).

A partir de 1987, la producción comercial de bananos y plátanos en Ecuador se vio afectada por la sigatoka negra, que es el principal problema fitosanitario de este cultivo no solo en nuestro país, sino en la mayoría de los países productores a nivel global (Jones, 2000; Bebbber, 2019). La presencia de sigatoka negra en Ecuador ocasionó grandes pérdidas en las zonas productoras, ya que modificó el manejo de las plantaciones de banano, principalmente los programas de aplicación de fungicidas y algunas prácticas de cultivo. Esto trajo como consecuencia un incremento notable en los costos de producción por concepto de manejo de la enfermedad, ya que su combate depende principalmente del uso de fungicidas y el apoyo de diversas prácticas de cultivo (Cedeño-García *et al.*, 2017).

La producción comercial de banano no es posible sin la presencia de un programa de manejo integrado de la enfermedad, para lo cual se requiere tener un conocimiento adecuado del patosistema (cultivar de banano – sigatoka negra – condiciones ambientales) por parte de

técnicos y productores, que permita adoptar estrategias eficientes para el combate, producción y exportación de la fruta (Orozco-Santos *et al.*, 2008). La presencia de sigatoka negra en las zonas bananeras provocó cambios en el manejo de las plantaciones, especialmente en los programas de aspersión de fungicidas para su combate y en las prácticas de cultivo. Se estima que el combate de sigatoka negra puede llegar a consumir hasta un 40% del total de costos de producción del cultivo. Asimismo, hubo cambios en el manejo de las plantaciones con tendencia a una mayor tecnificación del cultivo (nutrición, densidad de población, deshoje, deshoje, control de plagas, enfermedades y maleza), lo que trajo como consecuencia un incremento en los costos de producción.

En la actualidad, el combate químico ha sido la opción más viable para el control de sigatoka negra en los cultivares de banano comerciales de Ecuador. Desde la aparición de la enfermedad, los programas de control se han ido modificando y el número de ciclos de aplicaciones de fungicidas han aumentado. Esto ha generado que además del incremento en los costos de producción del cultivo, se hayan presentado problemas de contaminación ambiental, afectaciones a la salud humana y animal, y pérdida de sensibilidad del hongo a fungicidas protectantes y sistémicos (Cedeño-García *et al.*, 2017; Quevedo *et al.*, 2018). En zonas productoras de banano en Ecuador donde las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo del fitopatógeno (precipitaciones y humedad relativa altas) se suelen requerir hasta 38 ciclos de aplicación de fungicidas.

2.6. Manejo de la enfermedad

Actualmente se conocen diversos métodos para el control de sigatoka negra, entre los cuales el químico y cultural son mayormente usados (Guzmán *et al.*, 2013; Chillet *et al.*, 2013). Sin embargo, a pesar de un uso intenso de prácticas culturales, el control eficaz de la enfermedad se basa en el uso de agroquímicos, lo cual es preocupante por el incremento de casos de pérdida de sensibilidad del patógeno hacia fungicidas (Aguilar *et al.*, 2014; Cedeño-García *et al.*, 2017). Actualmente, se estima que el número de ciclos de aplicaciones de fungicidas está bordeando los 40 (Pérez, 2013).

Desde el punto de vista preventivo, económico y ambiental, la resistencia genética de cultivares es el método con mayor eficacia y sostenibilidad para control de la sigatoka negra

(Sánchez *et al.*, 2016), sin embargo, debido a su naturaleza, el desarrollo de resistencia genética en *Musa* spp. es muy difícil debido a la reproducción vegetativa característica de todos los cultivares de musáceas y es necesario incorporar otras tácticas de control como alternativa o complemento del control químico, tales como el control biológico, la nutrición e inducción de resistencia (Sagratzki *et al.*, 2015).

No obstante, en algunas regiones del planeta se están desarrollando investigaciones relacionadas al uso de la diversidad genética intraespecífica local, como nueva herramienta para manejar plagas y enfermedades, puesto que, a mayores niveles de biodiversidad intraespecífica en un lugar, se dispone de mayores fuentes de resistencia (Marcillo, 2014). Estudios actuales dan cuenta que la mezcla intraespecífica de cultivares con diferentes niveles de resistencia, limita el desarrollo de enfermedades al reducir el tejido susceptible de uno de los cultivares, dado que el movimiento de inóculo desde una planta susceptible a otra se ve obstaculizado por la presencia de plantas resistentes (Tuo Seydou *et al.*, 2017).

Con la finalidad de implementar sistemas de siembra intraespecíficos en la producción comercial de musáceas como una estrategia más del Manejo Integral Fitosanitario, es necesario conocer los niveles de resistencia a sigatoka negra presentes en cultivares locales de banano y plátano. La detección de niveles de resistencia a sigatoka negra en condiciones de campo, es muy costosa y extensa, por lo cual se han implementado métodos tempranos de evaluación en condiciones controladas, a través de inoculaciones artificiales (Acosta *et al.*, 2004), lo que ha permitido simplificar procesos de selección principalmente para programas de mejoramiento genético. No obstante, en musáceas los trabajos se han concentrado exclusivamente al cultivar Cavendish.

2.7. Control químico y generación de resistencia del hongo hacia los fungicidas

Para Barreto-Macías *et al.* (2019) la aplicación de fungicidas químicos puede disminuir el daño ocasionado por *M. fijiensis*, sin embargo su uso debe ser justificado y supervisado, evitando sobrecostos y daños a la salud y al medio ambiente.

Se sabe que el más eficiente de los fungicidas solo reduce la severidad de la enfermedad, pero no erradica el problema, por tanto se perpetúa la convivencia con el fitopatógeno debido

a su naturaleza policíclica (Bebber, 2019). En las zonas tropicales del Ecuador donde se cultiva banano con fines de exportación, las condiciones ambientales son adecuadas para el desarrollo de la enfermedad, y su incidencia estará siempre presente en las plantaciones. Bajo estas condiciones se establecen estrategias de manejo de la enfermedad para mantener los niveles de infección bajos, mediante programas basados en el uso adecuado de fungicidas y otras herramientas como aceite agrícola. Los programas se estructuran aplicando las recomendaciones FRAC (Fungicide Resistance Action Commite) que regula el uso adecuado de las moléculas disponibles, su rotación, modos y mecanismos de acción con el propósito de minimizar el riesgo de resistencia (García-Regalado *et al.*, 2019).

2.8. Identificación y clasificación de los síntomas de la enfermedad

Los síntomas mostrados durante el desarrollo de la enfermedad sigatoka negra en musáceas, fueron redefinidos por Fouré (1985), agrupándolos en seis estadios, que se describen a continuación.

- **Estadio 1.** Es el primer síntoma externo de la enfermedad, las plantas afectadas por sigatoka negra presentan puntos oscuros, café rojizo menor de 0.25 mm de longitud, visible a simple vista en el envés de las hojas, generalmente más abundante cerca del margen derecho de la hoja (vista de frente) y hacia el ápice.
- **Estadio 2.** En este síntoma las estrías aparecen entre 10 a 14 días después de la infección, como una raya, generalmente de color café y visible en el envés de la hoja, más adelante, este síntoma también aparece como una raya en la parte de arriba del limbo (hoja). Este color cambiará progresivamente a café y más adelante a negro en la parte de arriba de la hoja, sin embargo mantendrá el color café en el envés de la misma.
- **Estadio 3.** Se diferencia del anterior en sus dimensiones, la raya se hace más grande y bajo ciertas condiciones (poco inóculo y condiciones climáticas desfavorables), puede alcanzar una longitud de 2 cm a 3 cm de longitud.

- **Estadio 4.** Aparece en el envés de la hoja como una mancha café y en la parte de arriba como una mancha negra.
- **Estadio 5.** Ocurre cuando la mancha elíptica se vuelve totalmente negra y se ha extendido al envés de la hoja. Esta mancha tiene un halo amarillo que la rodea y su centro se empieza a aplanar.
- **Estadio 6.** Ocurre cuando el centro de la mancha se seca, adquiere un color gris claro y lo rodea un anillo bien definido de color negro, rodeado a su vez por un halo de color amarillo brillante. Estas manchas se podrán observar aún después de que la hoja se ha secado ya que el anillo persiste.

El resultado final es la destrucción del follaje, y consecuente pérdida de la capacidad de respiración y fotosíntesis, la producción de fruta es reducida drásticamente, sin embargo, también ocasiona un llenado deficiente y la maduración prematura de los dedos en campo, durante el transporte o almacenaje, daño que es considerado como el más importante. Este daño, estaría determinado por la acción de toxinas del patógeno, más que debido a la defoliación. Si el ataque se produce sobre todo en las hojas jóvenes de la planta, la pérdida de la producción es total.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Ubicación y descripción del área experimental

3.1.1. Experimento 1

Un primer experimento a nivel de campo se estableció en seis haciendas bananeras en plena producción, ubicadas en la zona del Cantón San Juan, provincia de Los Ríos. La investigación consistió en la comparación del efecto producido por dos estrategias de manejo de *M. fijiensis* en banano, basadas en la combinación de fungicidas sistémicos y protectantes de diferentes grupos químicos e ingredientes activos, frecuencias de aplicación, rotación y números de ciclos al año.

Las tres primeras haciendas: “Magdalena”, ubicada en el km 3 de la vía San Juan – Pueblo Viejo; “Naranja Chico” ubicada en el km 8 de la vía Pueblo Viejo – Puerto Pechiche, y “La Elvira” localizada en el km 2 vía Ventanas – Quevedo, emplearon la primera estrategia de manejo de la enfermedad (menor carga de fungicidas). El siguiente grupo de haciendas designadas con los códigos I, II, y III, aplicaron una segunda estrategia de manejo (mayor carga de fungicidas), diferente al primero. No obstante, en todas las plantaciones se realizaron campañas de control de la enfermedad en época lluviosa (mediados de diciembre a mayo), y campañas de época seca (junio a mediados de diciembre).

La zona ecológica donde se ubican las plantaciones de banano circundantes al cantón San Juan, corresponde a un clima tropical húmedo según la clasificación de Holdridge, con temperatura media anual de 26 °C, precipitación anual de 1239.25 mm, humedad relativa de 83%, topografía plana, textura franco-arcillosa y drenaje regular.

3.1.1.1. Estrategias de manejo en bananeras con menor carga de fungicidas

- **Campaña de época lluviosa.** Empezó en la semana 1, con una frecuencia de aplicación de fungicidas de 10 días entre ciclos. Entre las semanas 18 a 22 (aproximadamente mes de mayo), en función a las condiciones ambientales (precipitación y humedad relativa) y al criterio técnico del evaluador, el periodo de aplicación entre ciclos varió entre 15 a 21 días. Generalmente la última aplicación (ciclo) de la campaña de época lluviosa se realizó en la semana 22, con fungicidas

sistémicos, salvo cuando prevalecieron condiciones ambientales favorables para la enfermedad.

- **Campaña de época seca.** Se inició en la semana 45, previo diagnóstico a nivel de campo y criterio técnico. Generalmente se realizaron 3 ciclos, con una frecuencia de aplicación de 21 días entre ciclos. En los años cuando las condiciones ambientales (precipitación y humedad relativa) fueron favorables para el hongo, se realizaron hasta 4 ciclos, con intervalos de 14 días entre ciclos. El último ciclo de aplicación de fungicidas mayormente ocurrió entre las semanas 51 y 52.

Esta estrategia de manejo de la enfermedad genera una ventana de tiempo (intervalo) entre el último ciclo de la campaña de época lluviosa y el primer ciclo de aplicación de la campaña de época seca de entre 130 a 155 días, periodo en que las plantaciones de banano generalmente están poco expuestas a las aplicaciones de fungicidas. En esta estrategia de manejo se emplearon fungicidas sistémicos y protectantes, cuyos ingredientes activos y componentes inertes (en algunos casos actúan como potenciadores) están disponibles en el mercado nacional de pesticidas. La rotación de protectantes se realizó pasado un ciclo. En la Tabla 1 se enlistan todos los ingredientes activos antifúngicos empleados durante los cinco años del estudio.

Tabla 1. Lista de ingredientes activos antifúngicos empleados para el control de *M. fijiensis* en tres plantaciones de banano con la estrategia “menor carga de fungicidas”, durante cinco años.

AÑOS DE APLICACIÓN				
2015	2016	2017	2018	2019
Fenpropimorph + Mancozeb	Mancozeb + Pyrimethanil	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph	Boscalid + Pyrimethanil
Tiram	Clorotalonil	Pyrimethanil + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Metiram	Mancozeb + Pyrimethanil
Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Mancozeb + Spiroxamine	Pyrimethanil + Tebuconazole + Triadimenol	Metiram + Fenpropimorph	Mancozeb + Epoxiconazole
Spiroxamine + Pyrimethanil	Tebuconazole + Triadimenol + Pyrimethanil	Pyrimethanil + Mancozeb	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Mancozeb
Epoxiconazole + Fenpropimorph	Difenoconazole + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Difenoconazole + Pyrimethanil	Mancozeb + Fenpropimorph
Pyrimethanil + Mancozeb	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph	Mancozeb
Mancozeb	Mancozeb + Spiroxamine	Difenoconazole + Pyrimethanil	Tebuconazole + Triadimenol + Pyrimethanil	Pyrimethanil + Mancozeb
Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph	Pyrimethanil + Metiram
Spiroxamine + Pyrimethanil	Mancozeb + Fenpropimorph	Pyrimethanil + Tebuconazole + Triadimenol	Epoxiconazole + Pyrimethanil	Difenoconazole + Fenpropidin
Epoxiconazole + Fenpropimorph	Tebuconazole + Triadimenol + Pyrimethanil	Mancozeb + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph
Clorotalonil	Mancozeb + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Difenoconazole + Pyrimethanil	Epoxiconazole + Pyrimethanil
Spiroxamine + Tebuconazole + Triadimenol	Difenoconazole + Pyrimethanil	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph	Mancozeb + Fenpropimorph
Fenpropimorph + Mancozeb	Boscalid + Fenpropimorph	Difenoconazole + Pyrimethanil	Fenpropimorph + Tebuconazole + Triadimenol	Difenoconazole + Fenpropidin
Tebuconazole + Triadimenol + Pyrimethanil	Mancozeb + Pyrimethanil	Mancozeb + Fenpropimorph	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Pyrimethanil + Mancozeb
Epoxiconazole + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Fenpropidin + Mancozeb	Boscalid + Pyrimethanil
Clorotalonil	Pyrimethanil + Tebuconazole + Triadimenol	Mancozeb + Pyrimethanil	Difenoconazole + Pyrimethanil	Epoxiconazole + Pyrimethanil
Clorotalonil	Mancozeb + Fenpropimorph		Fenpropimorph + Pyrimethanil	
Difenoconazole + Spiroxamin	Difenoconazole + Pyrimethanil		Epoxiconazole + Pyrimethanil	
Clorotalonil				
Epoxiconazole + Fenpropimorph				
Clorotalonil				
Tebuconazole + Triadimenol + Pyrimethanil				
Spiroxamine + Mancozeb				
Epoxiconazole + Fenpropimorph				
Spiroxamine + Pyrimethanil				
Mancozeb				
Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph				
Mancozeb + Spiroxamine				

3.1.1.2. Estrategias de manejo en bananeras con mayor carga de fungicidas

- **Campaña de época lluviosa.** Se dio inicio en la semana 1, con una frecuencia de aplicación de fungicidas de 6 a 7 días, e incluso 5 días entre ciclos en algunos casos. Para la semana número 20 generalmente se llegó con 21 ciclos de aplicación, alcanzando la semana 25 con un periodo de aplicación entre ciclos de 10 días. Para la semana 30, los ciclos fueron de 21 días, con un número de 30 ciclos acumulados. Consecuentemente, hasta la semana 52 se realizaron aproximadamente 32 ciclos o más, si las condiciones ambientales fueron favorables para la enfermedad.
- **Campaña de época seca.** Empezó en la semana 40 o 42 (dependiendo de las condiciones ambientales de cada año), luego de hacer el diagnóstico a nivel de campo. Generalmente se realizaron entre 7 a 8 ciclos con una frecuencia de aplicación de 10 días entre ciclos. Esta estrategia de manejo de la enfermedad formó una ventana de tiempo (intervalo) entre el último ciclo de la campaña de época lluviosa y el primer ciclo de aplicación de la campaña de época seca de entre 45 a 60 días, tiempo en que las plantaciones de banano no reciben aplicación de fungicidas.

En este método de manejo se empleó la estrategia denominada “campaña de protectantes en bloque”, que consistió en dos aplicaciones seguidas de fungicidas protectantes, luego una aplicación de fungicidas sistémicos, y nuevamente dos aplicaciones de protectantes. Para cerrar la campaña de época seca, en el mes de diciembre se aplicó un triazol. Cabe señalar que en las haciendas bananeras manejadas con estrategias de mayor impacto, se emplearon moléculas y componentes inertes (en algunos casos actúan como potenciadores), en algunos casos también empleadas en aquellas de menor impacto. En la Tabla 2 se enlistan todos los ingredientes activos antifúngicos empleados durante los cinco años del estudio.

Tabla 2. Lista de ingredientes activos antifúngicos empleados para el control de *M. fijiensis* en tres plantaciones de banano con la estrategia “mayor carga de fungicidas”, durante cinco años.

AÑOS DE APLICACIÓN				
2015	2016	2017	2018	2019
Difenoconazole + Fenpropimorph	Difenoconazole + Fenpropimorph	Difenoconazole + Fenpropimorph	Difenoconazole + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph
Clorotalonil	Clorotalonil	Clorotalonil	Clorotalonil + Oleato de cobre	Metiram
Clorotalonil	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Clorotalonil	Clorotalonil	Metiram
Epoxiconazole + Fenpropimorph	Metiram	Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Difenoconazole + Fenpropimorph
Fenpropimorph + Pyrimethanil	Fenpropimorph + Mancozeb	Clorotalonil	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Pyrimethanil + Mancozeb
Difenoconazole + Fenpropimorph	Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Clorotalonil	Fenpropimorph + Mancozeb
Fenpropimorph + Pyrimethanil	Boscalid + Mancozeb	Clorotalonil	Clorotalonil + Complejo de oligosacáridos	Clorotalonil
Clorotalonil	Clorotalonil	Clorotalonil	Difenoconazole + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph
Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Clorotalonil	Difenoconazole + Fenpropimorph	Clorotalonil	Fenpropimorph + Mancozeb
Fenpropimorph + Pyrimethanil	Difenoconazole + Fenpropimorph	Boscalid + Mancozeb	Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Difenoconazole + Mancozeb
Boscalid + Fenpropimorph	Fenpropimorph + Mancozeb	Clorotalonil	Clorotalonil + Complejo de oligosacáridos	Azoxistrobina + Isopirazam + Pyrimethanil
Boscalid + Fenpropimorph	Clorotalonil	Clorotalonil	Clorotalonil + Oleato de cobre	Fenpropimorph + Mancozeb
Epoxiconazole + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropidin	Clorotalonil + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Epoxiconazole
Mancozeb + Fenpropimorph	Clorotalonil + Complejo de oligosacáridos	Clorotalonil	Mancozeb	Fenpropidin + Mancozeb
Difenoconazole + Fenpropimorph	Fenpropimorph + Complejo de oligosacáridos	Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Mancozeb	Pyrimethanil
Mancozeb	Clorotalonil	Mancozeb	Epoxiconazole + Fenpropidin	Difenoconazole + Mancozeb
Mancozeb	Epoxiconazole + Fenpropidin	Fenpropimorph + Pyrimethanil	Boscalid + Mancozeb	Mancozeb
Epoxiconazole + Mancozeb	Clorotalonil	Clorotalonil	Fenpropimorph + Mancozeb	Azoxistrobina + Isopirazam
Epoxiconazole + Fenpropimorph	Clorotalonil	Metiram	Fenpropimorph + Mancozeb	Clorotalonil
Metiram	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Fenpropimorph + Mancozeb
Mancozeb	Fenpropimorph	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Mancozeb
Fenpropimorph + Tebuconazole + Triadimenol	Fenpropimorph + Complejo de oligosacáridos	Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Mancozeb	Fenpropidin
Mancozeb	Clorotalonil	Metiram	Fenpropimorph + Pyrimethanil	Fenpropimorph + Mancozeb
Difenoconazole + Fenpropimorph	Flutriafol + Fenpropimorph	Mancozeb		Difenoconazole + Mancozeb
Mancozeb	Clorotalonil	Mancozeb		Mancozeb
Mancozeb	Clorotalonil	Epoxiconazole + Fenpropimorph		Mancozeb

Tebuconazole + Triadimenol + Fenpropimorph	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Pyrimethanil + Mancozeb
Boscalid + Mancozeb	Clorotalonil + Complejo de oligosacáridos	Boscalid + Mancozeb
Boscalid + Mancozeb	Epoxiconazole Technical + Fenpropimorph	Fenpropimorph + Mancozeb
Fenpropimorph + Mancozeb	Clorotalonil + Silicato de Potasio y Magnesio	Pyraclostrobin + Fenpropimorph
Metiram	Fenpropimorph + Complejo de oligosacáridos	Fenpropimorph + Mancozeb
Metiram		Pyrimethanil + Mancozeb
Metiram		Fenpropimorph + Mancozeb
Mancozeb		Difenoconazole + Fenpropimorph
Pyraclostrobin + Fenpropimorph + Mancozeb		Fenpropimorph
Mancozeb		
Mancozeb		
Mancozeb		
Pyraclostrobin + Fenpropimorph + Pyrimethanil		
Mancozeb		
Fenpropimorph		
Epoxiconazole + Fenpropimorph		
Mancozeb		

Fenpropimorph + Mancozeb
Pyraclostrobin + Fenpropimorph
Fenpropimorph + Mancozeb
Difenoconazole + Pyrimethanil
Mancozeb
Boscalid + Pyrimethanil
Mancozeb
Fenpropimorph + Mancozeb

3.1.1.3. Monitoreo de la evolución de la enfermedad a nivel de campo

Para los estudios de incidencia y severidad de la enfermedad a nivel de campo, se analizaron las evaluaciones registradas semanalmente en cada hacienda durante 5 años (2015 – 2019). Las evaluaciones realizadas previamente se efectuaron mediante la metodología Stover (1971) modificada por Gauhl (1994), y para el efecto se consideraron entre 10 a 15 plantas por hacienda y semana de evaluación. Las variables evaluadas se muestran a continuación:

- Infección temprana en la cuarta hoja.
- Infección temprana en la quinta hoja.
- Número total de hojas en plantas de tres metros de altura.
- Número total de hojas en plantas de cero semanas.
- Número total de hojas en plantas de once semanas.

3.1.1.4. Costos de producción para el manejo de “Sigatoka negra”

Por cada estrategia de manejo de la enfermedad (menor y/o mayor carga de fungicidas), campaña de época lluviosa, campaña de época seca, número de ciclos de aplicación, etc., se establecieron los costos de producción por unidad de superficie (USD ha⁻¹ año).

3.1.2. Experimento 2

Con el propósito de complementar la investigación del experimento 1, se estableció un segundo experimento a nivel de campo, consistente en una plantilla de banano variedad Williams, ubicada en un área geográfica con mayor presión de inóculo, altas precipitaciones y humedad relativa, condiciones favorables para *M. fijiensis*, donde se evaluó el efecto de los tratamientos descritos más adelante.

El lugar donde se estableció el experimento fue en la Finca Experimental “La María”, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ubicada en el km 7 de la Vía Quevedo – El Empalme, provincia de Los Ríos. Esta finca se encuentra a una altura de 80 m.s.n.m., entre las coordenadas geográficas 01° 06’ de latitud y 79° 29’ de longitud oeste. La Finca Experimental “La María” posee una

temperatura media anual de 25.5 °C, precipitación anual de 2223.85 mm, humedad relativa de 85.8%, con una topografía plana, suelo de textura franco-arcillosa y drenaje regular, corresponde a una zona ecológica de Bosque Húmedo Tropical (bh-T), (MAE, 2013).

3.1.2.1. Monitoreo de la enfermedad a nivel de campo

Para la evaluación de incidencia y severidad de la enfermedad se aplicó la escala propuesta por Stover (1971), modificada por Gauhl (1990), consistente en seis grados o niveles, que permitió obtener semanalmente información detallada del progreso de la enfermedad Sigatoka negra en las plantas de banano sometida a los diferentes tratamientos. El sistema consistió en una estimación visual del área foliar afectada en todas las plantas próximas a floración, sin necesidad de bajar la hoja. Para esta evaluación se consideró todas las hojas presentes excepto la hoja candela, y las agobiadas. La hoja más cercana a la hoja candela se consideró la hoja número 1. El conteo se facilitó siguiendo una distribución en espiral (par e impar) de derecha a izquierda a partir de las hojas 1 y 2, contando hacia abajo.

La estimación del área foliar afectada, cubierta por los síntomas de la enfermedad en cada hoja, se realizó visualmente. Para el efecto fue necesario contar con un patrón o modelo que dividiera la hoja en proporciones porcentuales. En el Anexo 1 (figuras A y B) se muestran representaciones gráficas de la estrategia evaluación visual basada en la escala. A continuación se enlistan las variables evaluadas:

- Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) por la enfermedad.
- Tiempo de protección/residualidad (días) ejercido por los tratamientos (ingredientes activos antifúngicos) aplicados en las hojas, desde el momento de la aplicación (tiempo 0), hasta que la hoja deja de ser funcional.
- Número de hojas fotosintéticamente activas o funcionales (hojas con hasta el 50% de tejidos necrosados).

3.2. Tratamientos y diseño experimental

3.2.1. Experimento 1

Se aplicó dos tratamientos (menor carga de fungicidas, y mayor carga de fungicidas) distribuidos en un diseño completo al azar (DCA), con tres repeticiones (tres plantaciones). Con los datos obtenidos se realizó una comparación semanal por cada uno de los cinco años de evaluación, entre los valores de incidencia y severidad de la enfermedad, en las plantaciones de banano.

3.2.2. Experimento 2

Estuvo constituido por la aplicación de cuatro grupos de ingredientes activos antifúngicos (tratamientos) de diferentes casas comerciales. A nivel de campo se establecieron parcelas rectangulares de 720 m², una por cada tratamiento distribuidas de forma aleatoria, dentro de las cuales se plantaron 62 plantas de banano variedad Williams, a las que se aplicó los fungicidas de acuerdo a los tratamientos correspondientes. Las evaluaciones de cada variable se realizaron semanalmente en 20 plantas de banano, aleatoriamente. En la Tabla 3 se detallan los tratamientos estudiados:

Tabla 3. Grupos de ingredientes activos antifúngicos (tratamientos) aplicados en plantas de banano variedad Williams para el control de *M. fijiensis*, agente causal de la enfermedad Sigatoka negra, con sus fechas de aplicación.

No. de ciclos	Fechas de aplicación de los tratamientos	TRATAMIENTOS			
		Ingredientes Activos (grupo 1)	Ingredientes Activos (grupo 2)	Ingredientes Activos (grupo 3)	Control
1	21 de abril de 2020	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Tebuconazole + Triadimenol + Spiroxamine	Difenoconazole + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
2	28 de abril de 2020	Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
3	07 de mayo de 2020	Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Trifloxystrobin + Spiroxamine	Azoxystrobin + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
4	16 de mayo de 2020	Fenpropimorph + Metiram	Spiroxamine + Mancozeb	Fenpropidin + Mancozeb	Aceite Agrícola (control)
5	23 de mayo de 2020	Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
6	01 de junio de 2020	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Spiroxamine + Tebuconazole	Fenpropidin + Difenoconazole	Aceite Agrícola (control)
7	10 de junio de 2020	Boscalid + Fenpropimorph	Fluopyram + Pyrimethanil	Isopirazam + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
8	17 de junio de 2020	Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
9	26 de junio de 2020	Diethofencarb + Fenpropimorph	Ciprodinil + Spiroxamine	Ciprodinil + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
10	05 de julio de 2020	Fenpropimorph	Spiroxamine	Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
11	12 de julio de 2020	Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
12	21 de julio de 2020	Epoxiconazole + Fenpropimorph	Tebuconazole + Triadimenol + Spiroxamine	Difenoconazole + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)

Previo a la aplicación de fungicidas se realizó un cronograma de aplicaciones, que consistió en una frecuencia a intervalos de 7 días para los protectantes, e intervalos de 9 días entre los fungicidas sistémicos. Los fungicidas protectantes se aplicaron diluidos en agua (volumen final de 5 galones ha⁻¹), mientras que los sistémicos se mezclaron con aceite agrícola usando como emulsificante el producto Emulad SE.

La aplicación de los fungicidas se efectuó con un Dron (vehículo no tripulado). Luego de cada aplicación se marcó (pintó) la base de la hoja número 1 (hoja en la que se aplicó el fungicida) con un color diferente por cada ciclo. Este procedimiento se efectuó con una frecuencia semanal, registrando la fecha exacta del día de la aplicación y de evaluación (día, mes, año), con el propósito de evaluar el apareamiento y evolución de síntomas generados por el fitopatógeno.

3.2.2.1. Información relevante sobre el Dron

Modelo	:	DJI Agras MG1, capacidad de volumen 10 litros
Numero de boquillas	:	4 incorporadas
Tipo de boquillas	:	80-015.
Ancho de faja	:	3.5 m
Velocidad de avance	:	3.5 m s ⁻¹
Velocidad de avance del dron	:	14 km hora ⁻¹
Número de gotas por cm ²	:	28 – 35
Cantidad de mezcla preparada	:	2 litros
Cantidad producto descargado parcela	:	1.4 litros
Numero de pases en parcelas	:	3

3.3. Análisis estadístico

Los datos cuantitativos obtenidos se analizaron empleando herramientas de estadística descriptiva: media, desviación estándar, error estándar, coeficiente de variación, etc. Para analizar los resultados del primer experimento se empleó la prueba de *t* para muestras independientes. Los datos recabados del segundo experimento, fueron sometidos a los test de comprobación de supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas. Posteriormente y

con el propósito de establecer la existencia o no de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, los datos se analizaron bajo el esquema del análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 95% ($P < 0.05$). Luego se aplicó la prueba LSD (mínima diferencia significativa), con un nivel de significancia del 95% ($P < 0.05$). Para el efecto se empleó el paquete estadístico *SAS 9.0* versión para Windows.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Experimento 1

4.1.1.1. Progreso de la enfermedad en el tiempo

4.1.1.1.1. Porcentaje de infección temprana en la cuarta hoja. El análisis estadístico permitió detectar diferencias significativas en los porcentajes de infección de la hoja número cuatro, entre los dos tratamientos evaluados semanalmente, durante cinco años: 2015 ($t=7.60$, $P=0.000$), 2016 ($t=3.52$, $P=0.000$), 2017 ($t=5.36$, $P=0.000$), 2018 ($t=2.94$, $P=0.004$), 2019 ($t=2.04$, $P=0.043$). Los porcentajes de infección durante los cinco años de evaluación fueron superiores en el tratamiento “mayor carga de fungicidas”, cuyo rango porcentual de infección fue 1.5% a 15.7%, mientras que para el tratamiento “menor carga de fungicidas” los valores porcentuales del rango de infección fueron inferiores, entre 0.0% a 5.01%, siendo el año 2019 donde se detectó los mayores porcentajes de infección en la hoja evaluada (Figura 1).

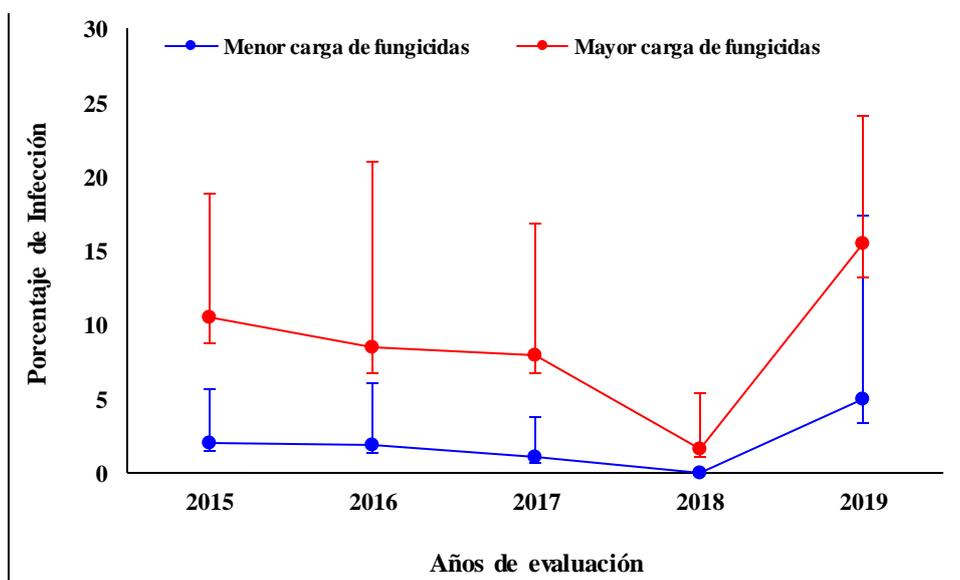


Figura 1. Comparación del porcentaje de infección generado por el hongo *M. fijiensis* en la hoja número cuatro, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.

Esta diferencia también es observable al comparar la evolución de la infección de la hoja número cuatro, durante el tiempo (52 semanas) en cinco años de evaluación, bajo las dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). En el tratamiento “mayor carga de

fungicidas” la infección de la hoja evaluada fue superior a la detectada en su contraparte, manteniéndose alta durante 38 semanas (semana 3 a la 41). Mientras que el tratamiento “menor carga de fungicidas” mostró un porcentaje de infección menor, que entre la semana 5 a la 25 estuvo alrededor del 18%, con excepción del año 2019, donde entre la semana 5 a 9 la infección de la hoja pasó de 0% a 60%, para luego descender y mantenerse dentro de los rangos detectados para los demás periodos (Figuras 2 y 3).

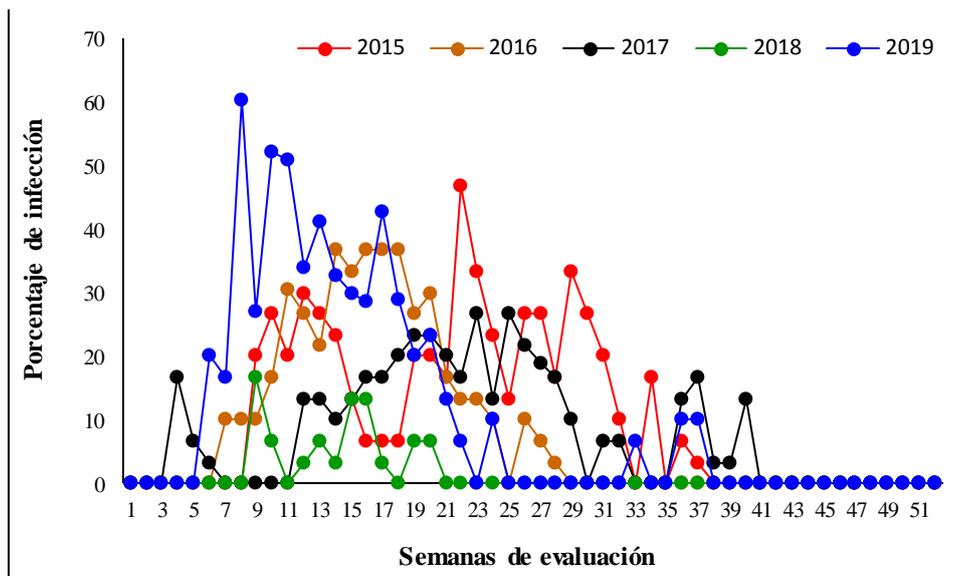


Figura 2. Evolución de la infección (porcentaje) generada por *M. fijiensis* en la cuarta hoja de banano, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

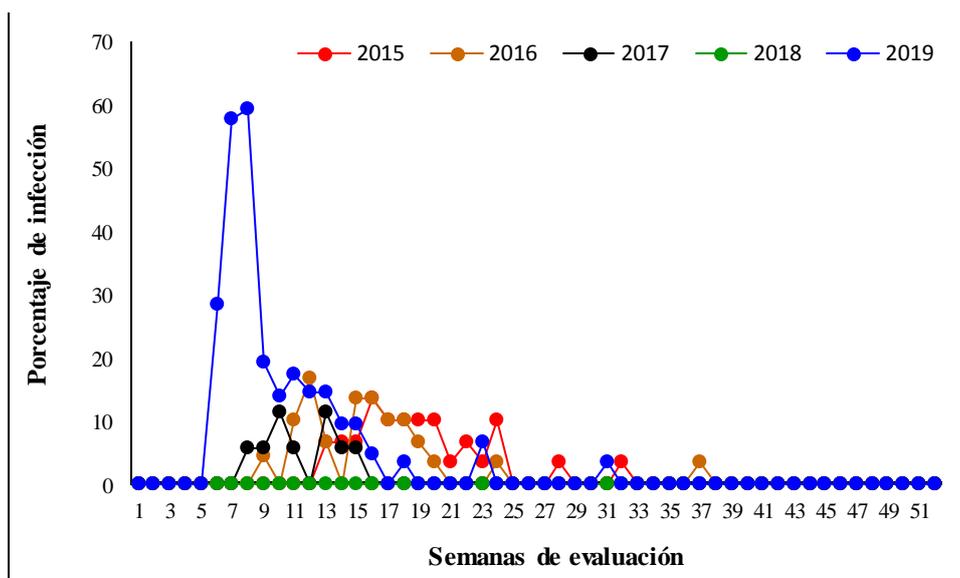


Figura 3. Evolución de la infección (porcentaje) generada por *M. fijiensis* en la cuarta hoja de banano, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

4.1.1.1.2. Porcentaje de infección temprana en la quinta hoja. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en los porcentajes de infección de la hoja número cinco, entre los dos tratamientos evaluados semanalmente, para los años 2015 ($t=6.79$, $P=0.000$), 2017 ($t=4.08$, $P=0.000$), y 2018 ($t=3.95$, $P=0.000$), no obstante, en los años 2016 ($t=1.34$, $P=0.184$) y 2019 ($t=1.04$, $P=0.302$) no se encontraron diferencias estadísticas. Los porcentajes de infección fueron superiores en el tratamiento “mayor carga de fungicidas”, cuyo rango porcentual de infección fue 11.4% a 32.2%, mientras que para el tratamiento “menor carga de fungicidas” los valores porcentuales del rango de infección fueron inferiores, entre 1.4% a 25.8% (Figura 4).

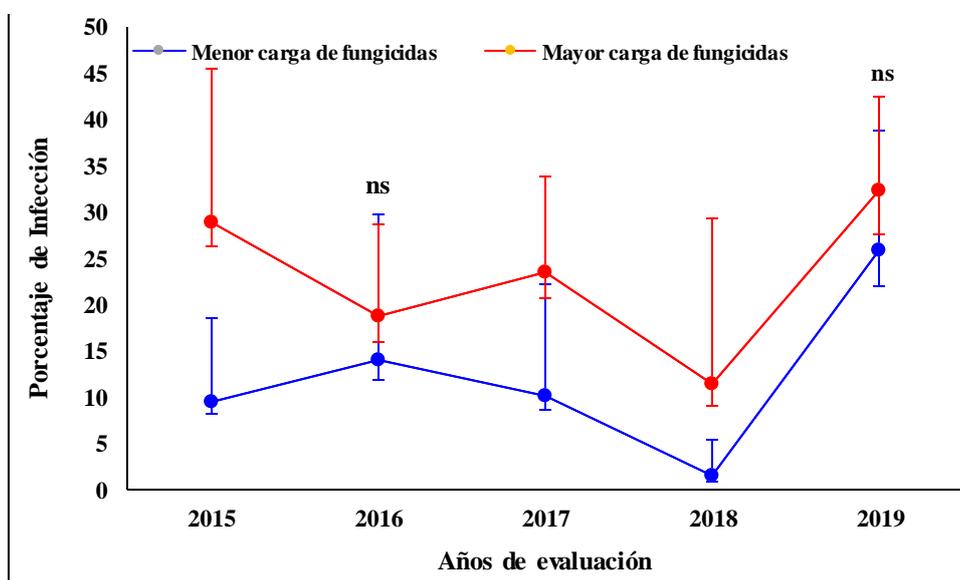


Figura 4. Comparación del porcentaje de infección generado por el hongo *M. fijiensis* en la hoja número cinco, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.

Al comparar la evolución de la infección de la hoja número cinco, durante el tiempo (52 semanas) en cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos), el tratamiento “mayor carga de fungicidas” mostró porcentajes superiores de infección en la hoja evaluada, frente a su contraparte, manteniéndose alta durante 44 semanas (semana 1 a la 45). Es de destacar que durante el año 2019, la infección fue alta, pasando de 0% en la semana 4 a entre 95% y 100% en las semanas 8 a 14. Por otra parte, en el año 2018 el porcentaje de infección fue nulo (cero) a partir de la semana 25. Paralelamente, el tratamiento “menor carga de fungicidas” mostró un porcentaje de infección menor, que entre

las semanas 7 a 42 fluctuó de 0% a 47%, con excepción del año 2019, que a partir de la semana 4 pasó de 0% a 100% de infección en la semana 7, para luego disminuir gradualmente y mantenerse dentro de los rangos detectados para los demás periodos (Figuras 5 y 6).

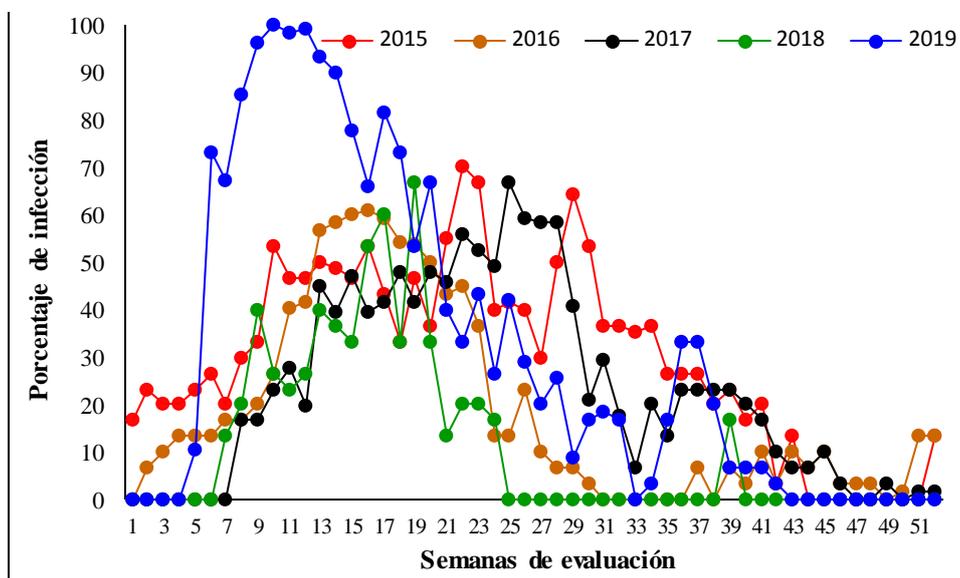


Figura 5. Evolución de la infección (porcentaje) generada por *M. fijiensis* en la quinta hoja de banano, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

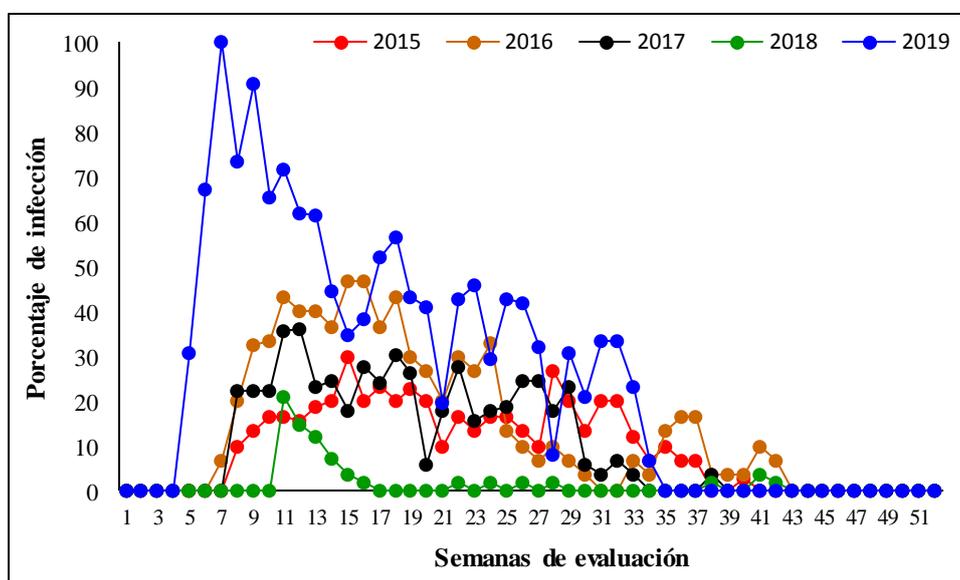


Figura 6. Evolución de la infección (porcentaje) generada por *M. fijiensis* en la quinta hoja de banano, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

4.1.1.1.3. Número total de hojas en plantas de tres metros de altura. Se determinaron diferencias estadísticas significativas en el total de hojas por plantas, entre los dos tratamientos evaluados semanalmente, durante cinco años: 2015 ($t=8.43$, $P=0.000$), 2016 ($t=3.70$, $P=0.000$), 2017 ($t=6.08$, $P=0.000$), 2018 ($t=5.28$, $P=0.000$), 2019 ($t=2.22$, $P=0.028$). El número promedio de hojas por planta fue inferior en el tratamiento “mayor carga de fungicidas”, durante los cinco años de evaluación, fluctuando en el rango de 11.0 a 11.4 hojas, mientras que en el tratamiento “menor carga de fungicidas” se detectó un mayor número promedio de hojas, con rango entre 11.0 a 11.8 hojas, siendo en el año 2019 donde se observó el menor número promedio en ambos tratamientos (Figura 7).

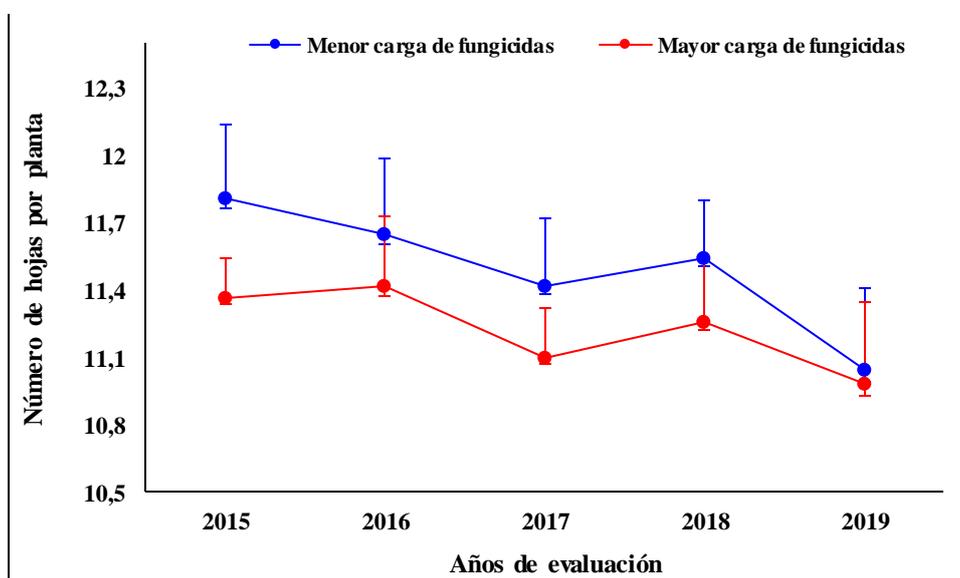


Figura 7. Comparación del número promedio de hojas en plantas de tres metros de altura, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.

La diferencia en el número de hojas por planta arriba detectado, se ve reflejado al comparar la fluctuación semanal (52 semanas) durante cinco años de evaluación. Es de destacar que el número promedio de hojas por plantas del tratamiento “mayor carga de fungicidas”, en el mejor de los casos (semana 43, año 2016) no superó las 12 hojas, mientras que en el año 2019, este promedio descendió más, fluctuando entre 10.3 a 10.8 hojas. Por otra parte, en el tratamiento “menor carga de fungicidas”, el número de hojas por planta en el año 2015, fue de 12.5 hojas en las primeras y últimas semanas del año, descendiendo ligeramente durante

las demás semanas, pero manteniéndose en alrededor de 11.5 hojas. Es de resaltar que el número promedio de hojas en el año 2019, fue notoriamente menor durante todas las semanas de evaluación, en ambas estrategias de manejo de fungicidas estudiados (tratamientos), (Figuras 8 y 9).

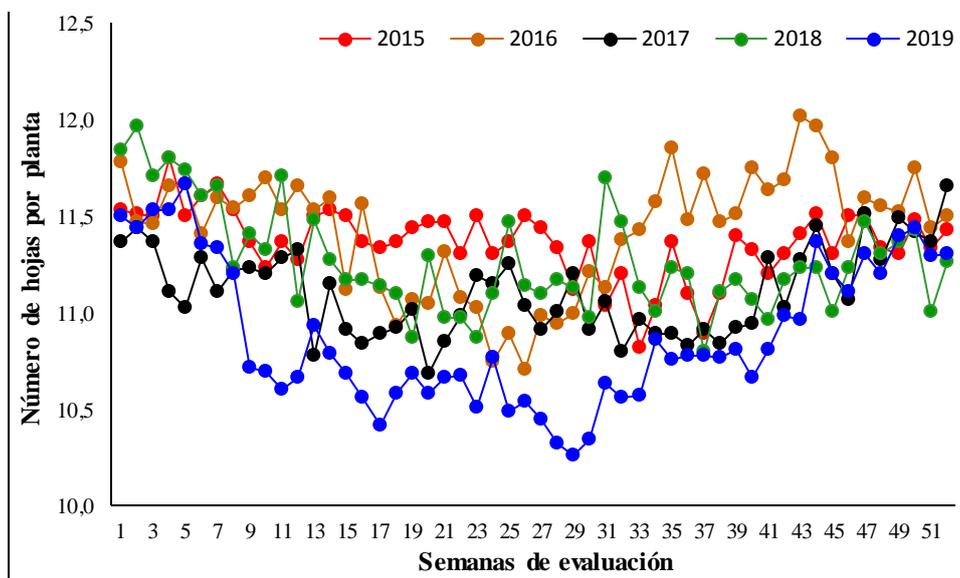


Figura 8. Número promedio de hojas en plantas de tres metros de altura, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

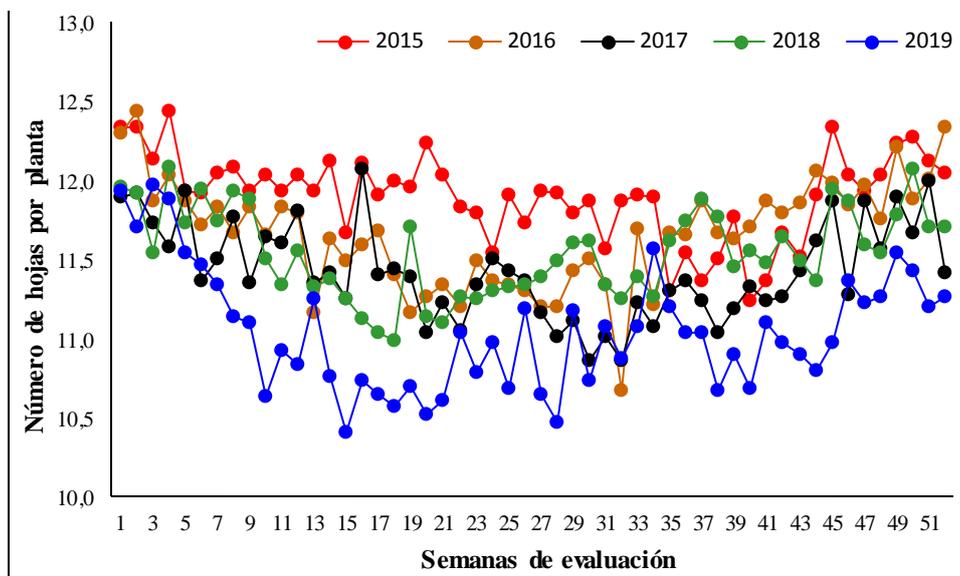


Figura 9. Número promedio de hojas en plantas de tres metros de altura, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

4.1.1.1.4. Número total de hojas en plantas de cero semanas. El análisis estadístico permitió detectar diferencias significativas en el número total de hojas por planta, entre los dos tratamientos evaluados semanalmente, durante cinco años: 2015 ($t=6.83$, $P=0.000$), 2016 ($t=2.86$, $P=0.005$), 2017 ($t=4.22$, $P=0.000$), 2018 ($t=10.05$, $P=0.000$), 2019 ($t=5.85$, $P=0.000$). El número promedio de hojas por planta fue significativamente menor en el tratamiento “mayor carga de fungicidas”, durante los cinco años de evaluación, fluctuando entre 14.7 a 15.7 hojas, mientras que el tratamiento “menor carga de fungicidas” mostró un mayor número promedio de hojas, con un rango entre 14.9 a 15.9 hojas (Figura 10).

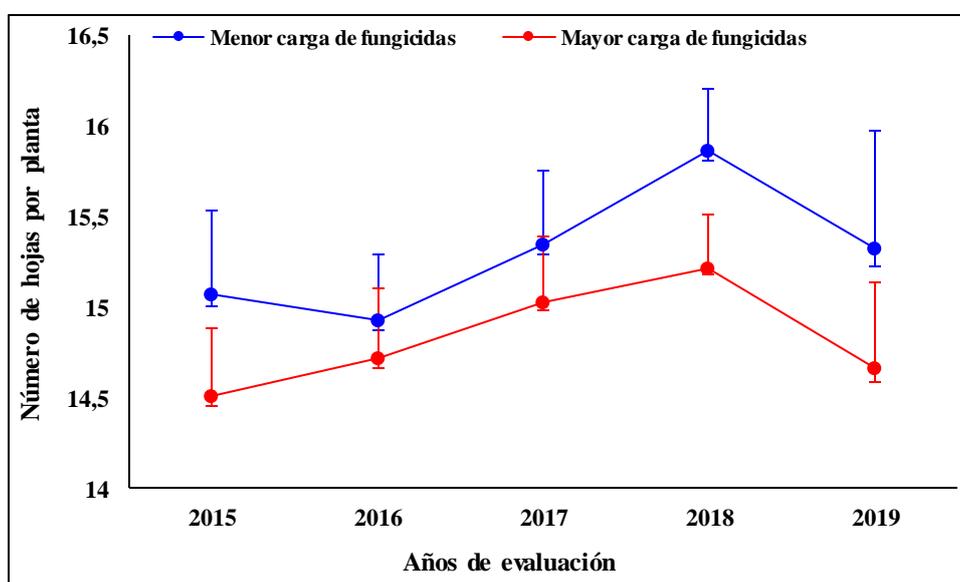


Figura 10. Comparación del número promedio de hojas en plantas de cero semanas, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.

La diferencia detectada en el número de hojas en plantas de cero semanas (Figura 10), es notoria al comparar la fluctuación semanal (52 semanas) durante cinco años de evaluación. El número promedio de hojas por plantas del tratamiento “mayor carga de fungicidas”, en el mejor de los casos (semana 8, año 2018) no superó las 16 hojas, mientras que en el año 2015, este promedio descendió entre las semanas 30 a la 37, siendo inferior a 14 hojas. No obstante, el tratamiento “menor carga de fungicidas”, reflejó un mayor número de hojas promedio por planta, a tal punto que en las primeras 9 semanas del año 2019, fue de alrededor de 16.5 hojas. Así mismo, entre las semanas 28 a 52 del año 2018, el número promedio de hojas fluctuó entre 15.8 y 16.7, aproximadamente (Figuras 11 y 12).

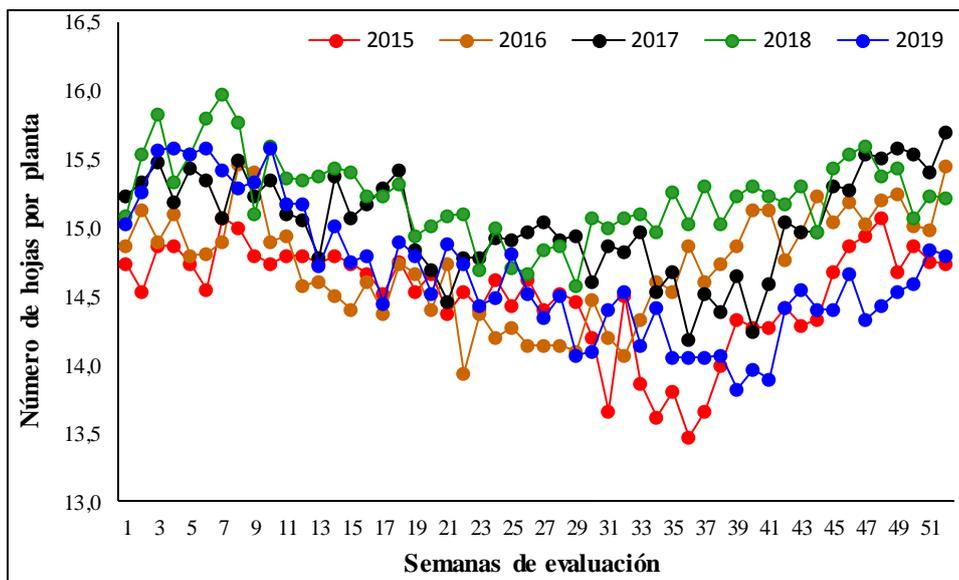


Figura 11. Número promedio de hojas en plantas de cero semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

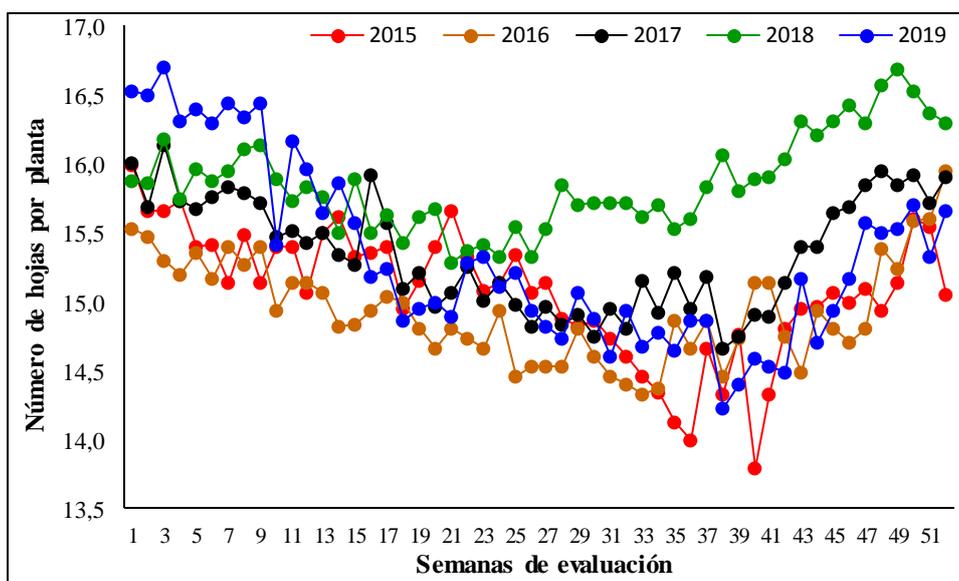


Figura 12. Número promedio de hojas en plantas de cero semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

4.1.1.1.5. Número total de hojas en plantas de once semanas. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en el total de hojas por plantas, entre los tratamientos evaluados semanalmente, únicamente para los años 2015 ($t=6.96$, $P=0.000$) y 2018 ($t=14.9$, $P=0.000$), mientras que para los años 2016 ($t=1.44$, $P=0.154$), 2017 ($t=0.78$, $P=0.437$), y 2019 ($t=0.33$,

$P=0.745$), no. El tratamiento “mayor carga de fungicidas” mostró un menor número promedio de hojas por planta en los años 2015 (9.1 hojas) y 2018 (10,4 hojas), mientras que en el tratamiento “menor carga de fungicidas” se detectó un mayor número de hojas, con 9.82 y 10.9 hojas para los años 2015 y 2018, respectivamente (Figura 13).

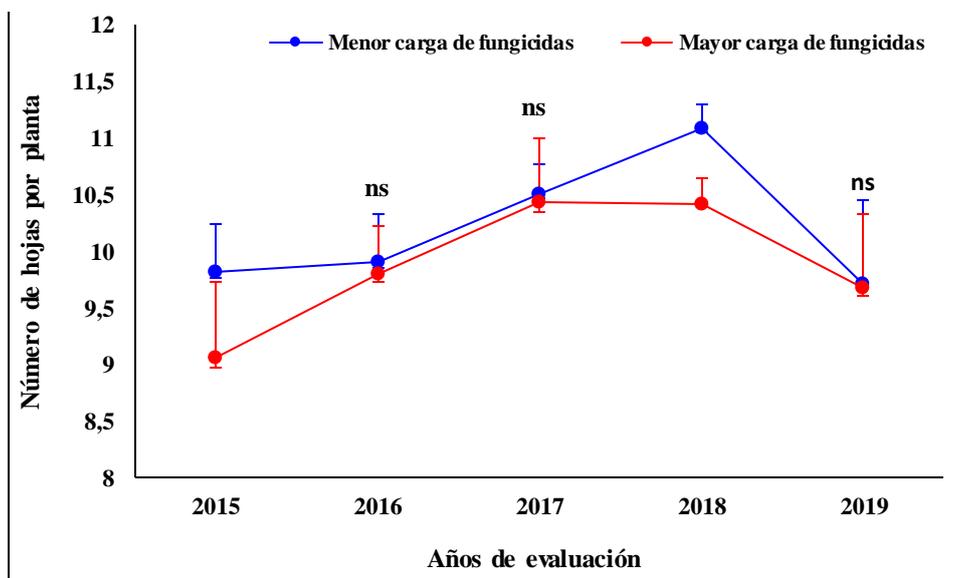


Figura 13. Comparación del número promedio de hojas en plantas de once semanas, durante cinco años de evaluación, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas (tratamientos). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio, con su respectiva desviación y error estándar.

La diferencia del número de hojas en plantas de cero semanas, mostrado en la figura 13, es visible al comparar las fluctuaciones semanales (52 semanas) durante cinco años de evaluación. El número promedio de hojas por planta del tratamiento “mayor carga de fungicidas”, en el año 2015 llegó a ser inferior a 8 hojas entre las semanas 30 a la 36, con igual comportamiento durante las semanas de evaluación del año 2018, donde el número promedio fue alrededor de 10.5 hojas. Mientras que el tratamiento “menor carga de fungicidas”, mostró un mayor número de hojas promedio por planta, situación que se observa claramente en el año 2018, donde en la mayor parte de las semanas evaluadas el número de hojas fue superior a 11, con excepción de las semanas 15 y 17 donde el número de hojas fue inferior a 8 (Figuras 14 y 15).

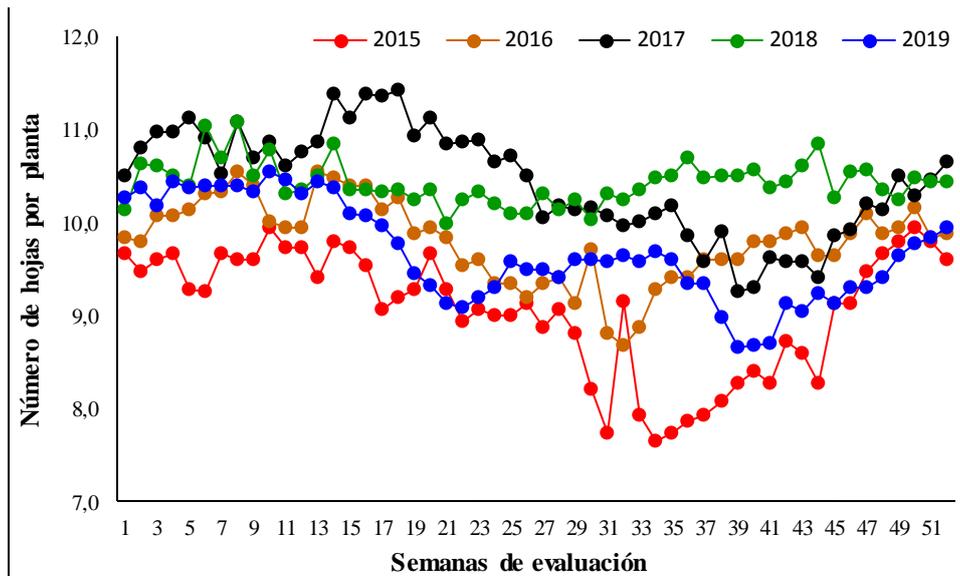


Figura 14. Número promedio de hojas en plantas de once semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “mayor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

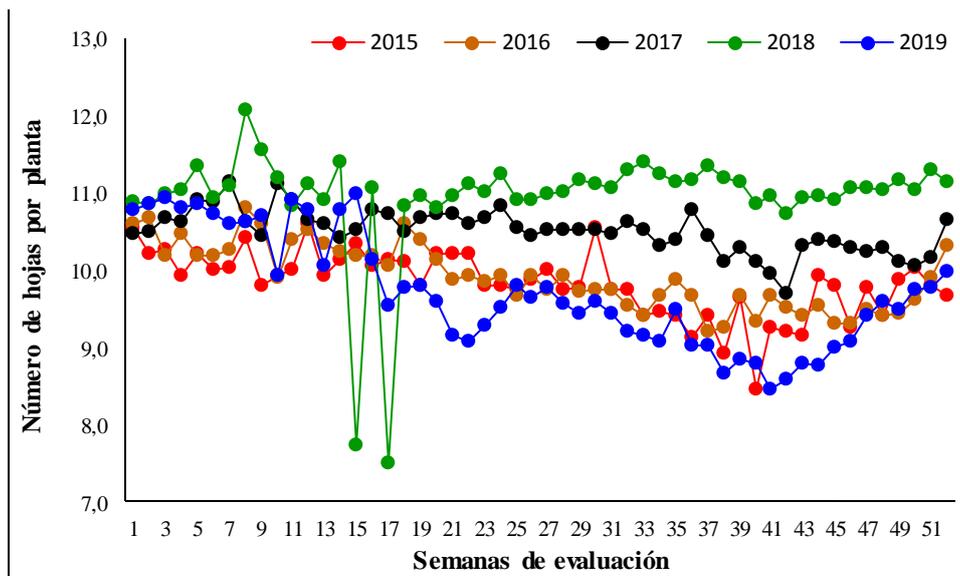


Figura 15. Número promedio de hojas en plantas de once semanas, durante cinco años de evaluación, bajo condiciones de “menor carga de fungicidas”. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) durante 52 semanas y cinco años de estudio.

4.1.1.2. Costos de producción por el manejo de la enfermedad “Sigatoka negra”

4.1.1.2.1. Campaña de época lluviosa. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en los costos de producción entre los tratamientos evaluados en las campañas de la época lluviosa (invierno), durante los años 2015 ($t=4.86, P=0.000$), 2016 ($t=11.78, P=0.000$), 2017

($t=7.83$, $P=0.001$), y 2019 ($t=2.13$, $P=0.001$), a excepción del año 2018 donde no se detectaron diferencias significativas ($t=0.96$, $P=0.392$). No obstante, estos resultados muestran diferencias económicas importantes en los costos del manejo de la enfermedad de Sigatoka negra (Figura 16).

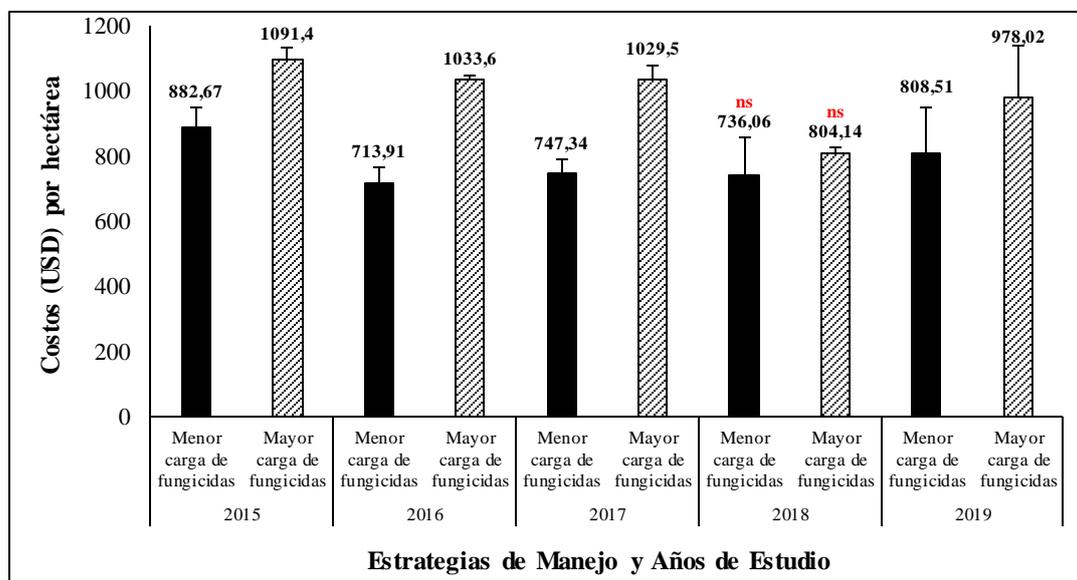


Figura 16. Costos (USD hectárea⁻¹ año) generados por la aplicación de fungicidas para el control de Sigatoka negra en banano, bajo dos estrategias de manejo de la enfermedad en la estación climática lluviosa (campana de época lluviosa). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) con su respectiva desviación estándar.

4.1.1.2.2. Campaña de época seca. Se detectaron diferencias estadísticas significativas en los costos de producción entre los tratamientos evaluados en las campañas de época seca (verano), durante todos los años estudiados: 2015 ($t=4.31$, $P=0.012$), 2016 ($t=12.24$, $P=0.000$), 2017 ($t=9.65$, $P=0.000$), 2018 ($t=4.32$, $P=0.012$), y 2019 ($t=6.29$, $P=0.003$). Estos resultados demuestran diferencias económicas importantes en los costos del manejo de la enfermedad de Sigatoka negra, entre las dos estrategias de manejo de fungicidas planteados, siendo la “mayor carga de fungicidas” la más costosa, mientras la de “menor carga de fungicidas”, la económicamente más viable (Figura 17).

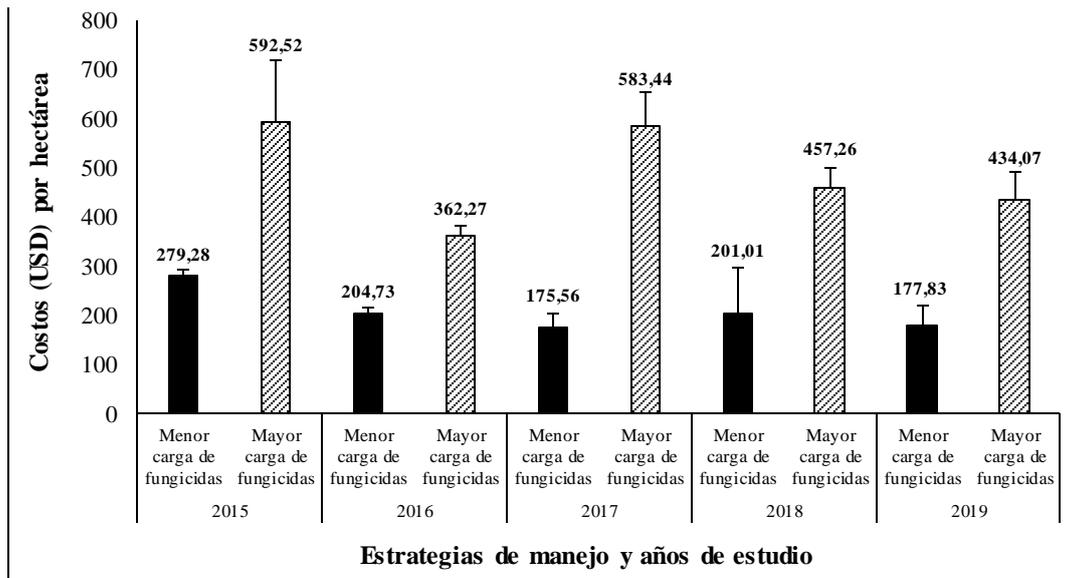


Figura 17. Costos (USD hectárea⁻¹ año) generados por la aplicación de fungicidas para el control de Sigatoka negra en banano, bajo dos estrategias de manejo de la enfermedad en la estación climática seca (campaña de época seca). Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones) con su respectiva desviación estándar.

4.1.1.2.3. Ciclos de aplicación de fungicidas y dinero ahorrado (USD). En la Tabla 4 se muestra el número de ciclos de aplicación de fungicidas, tanto en las campañas de época lluviosa y época seca, bajo dos estrategias de manejo de fungicidas. Para el total de ciclos aplicados anualmente, se detectaron diferencias estadísticas significativas en los años 2015 ($t=6.50$, $P=0.002$), 2016 ($t=3.62$, $P=0.022$), 2017 ($t=3.60$, $P=0.022$), y 2019 ($t=3.53$, $P=0.024$), siendo la estrategia basada en una “menor carga de fungicidas” la que menor número de ciclos empleó, con excepción del año 2018 ($t=0.61$, $P=0.579$), donde no se encontró diferencia estadística alguna. Además, se muestra la cantidad de dinero ahorrado (USD ha⁻¹ año) al aplicar un menor número de ciclos, en las campañas lluviosa y seca durante los cinco años de estudio. Es de destacar que este ahorro llegó a ser de hasta 690.04 USD ha⁻¹ en el año 2017, lo cual representó un ahorro del 42.8%.

Tabla 4. Número de ciclos, porcentaje y cantidad de dinero economizado (USD ha⁻¹ años) por la aplicación de modificaciones en la estrategia de manejo de fungicidas para el control de Sigatoka negra en banano. Los valores representan el promedio de tres repeticiones (plantaciones).

Años	Estrategia empleada*	Época lluviosa		Época seca		Total de ciclos aplicados		Porcentaje Ahorrado	Ahorro total (ha ⁻¹ año)
		Número de ciclos	USD ahorrados	Número de ciclos	USD ahorrados	No.	α 0,05		
2015	1	17,7	208,73	5,3	313,24	23,0	0,002	31,0	521,97
	2	22,0		14,0		36,0			
2016	1	16,0	319,69	4,0	157,54	20,0	0,022	34,2	477,23
	2	21,6		10,0		31,6			
2017	1	15,0	282,16	3,3	407,88	18,3	0,022	42,8	690,04
	2	21,4		10,6		32,0			
2018	1	16,0	68,08	5,0	256,25	21,0	0,574 ns	25,7	324,33
	2	16,7		7,6		24,3			
2019	1	16,0	169,51	3,3	256,24	19,3	0,024	30,2	425,75
	2	20,7		9,3		30,0			

* 1 = menor carga de fungicidas; 2 = mayor carga de fungicidas

4.1.2. Experimento 2

4.1.2.1. Periodo de protección (residualidad) de los fungicidas

Después de 127 días de la aplicación de los tratamientos (fungicidas), el análisis a los valores del área foliar afectada (AFA) permitió detectar la existencia de diferencias estadísticas significativas ($F=184.8$, $P=0.000$) entre los fungicidas utilizados. En la figura 18 se observa que el tratamiento Epoxiconazole + Fenpropimorph presentó el menor porcentaje de AFA, con 5.6%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos que mostraron 27.6% (Tebuconazole + Triadimenol + Spiroxamine), 28.2% (Difenoconazole + Fenpropidin), y 61.8% (Aceite Agrícola, control). Hay que resaltar que para el caso del tratamiento Aceite Agrícola, la evaluación se efectuó 7 días antes que los demás tratamientos (120 días), debido a que por el elevado porcentaje de AFA, las hojas fueron eliminadas (podadas) antes de los 127 días.

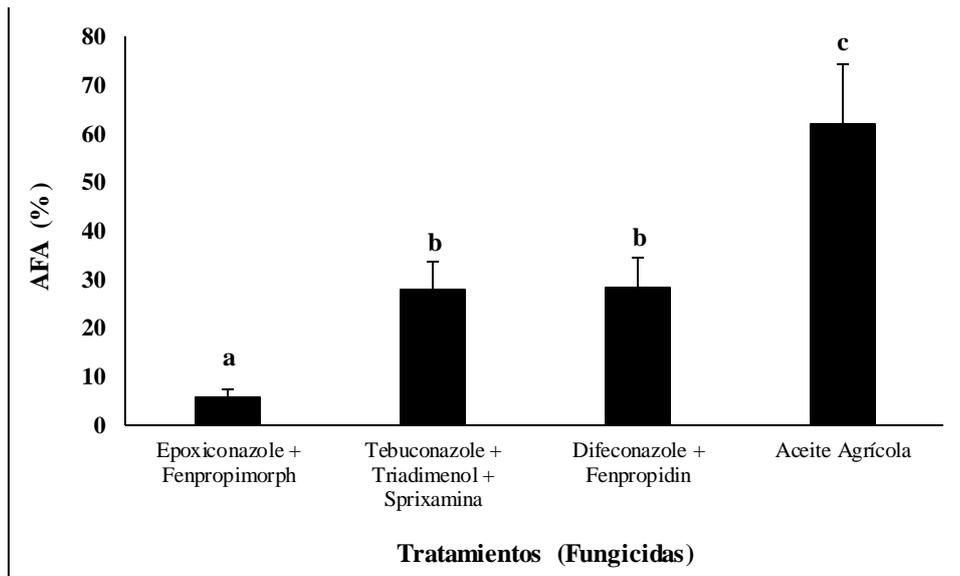


Figura 18. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 127 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

En la figura 19 se observa el efecto protector de los fungicidas, 120 días después de su aplicación. Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de AFA mostrados por las hojas de banano tratadas con los tratamientos fúngicos ($F=96.4$, $P=0.000$), donde el tratamiento Metiram presentó el menor porcentaje de AFA, con 9.6%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos: Chlorotalonil (23.4%), Mancozeb (31.5%), y Aceite Agrícola (50.2%) quienes difirieron estadísticamente entre sí.

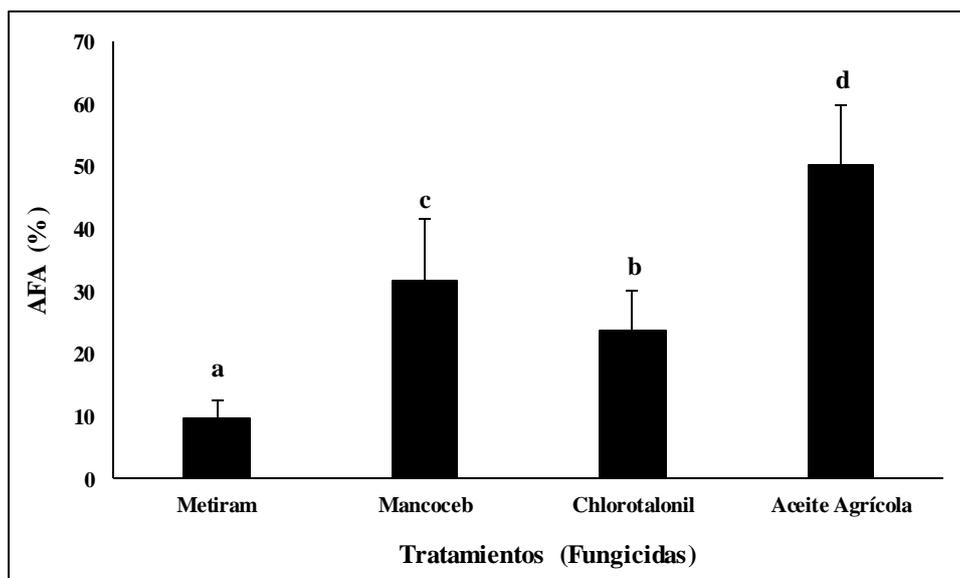


Figura 19. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 120 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

Después de 125 días de aplicar los fungicidas, el análisis a los valores AFA permitió discriminar la existencia de diferencias estadísticas significativas ($F=351.5$, $P=0.000$) entre el efecto de los fungicidas utilizados. En la figura 20 se observa que el tratamiento Pyraclostrobin + Fenpropimorf generó el menor porcentaje de AFA, con 9.8%, siendo estadísticamente diferente e inferior a los demás tratamientos que mostraron 26.7% (Trifloxystrobin + Spiroxamine), 28.2% (Azoxystrobin + Fenpropidin), y 75.3% (Aceite Agrícola, control).

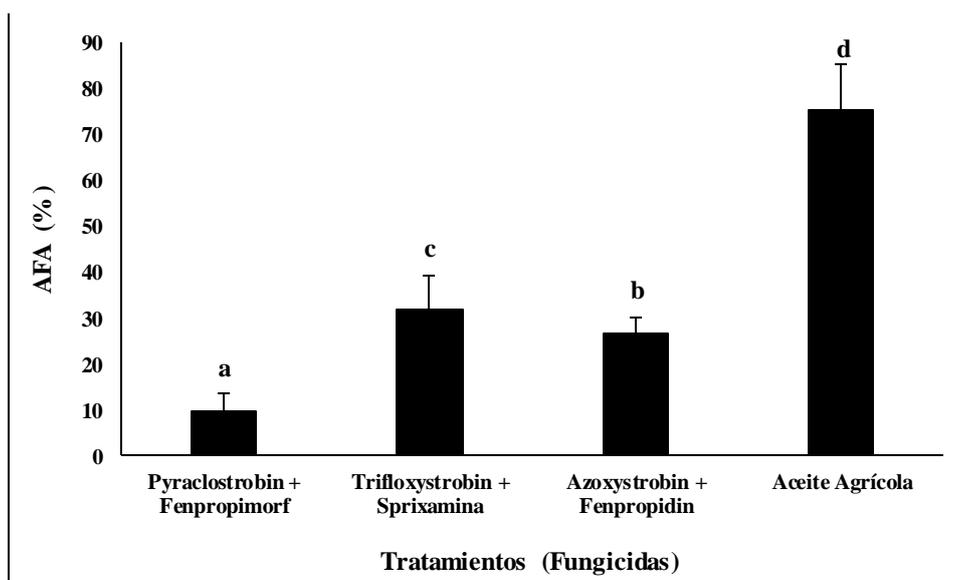


Figura 20. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 125 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

En la figura 21 se observa el efecto de los fungicidas, 137 días después de su aplicación. El análisis estadístico determinó la existencia de diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de AFA mostrados por las hojas de banano tratadas con los fungicidas ($F=241.5$, $P=0.000$), donde el tratamiento Fenpropimorph + Metiram generó el menor porcentaje de AFA, con 9.8%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos: Spiroxamine + Mancozeb (22.2%), Fenpropidin + Mancozeb (20.0%), quienes fueron estadísticamente similares, y Aceite Agrícola que mostró el mayor valor de AFA (72.9%). Es pertinente destacar que para el caso del tratamiento Aceite Agrícola, la evaluación se efectuó 10 días antes que los demás tratamientos (120 días), debido a que por el elevado porcentaje de AFA, las hojas fueron eliminadas (podadas) antes de los 137 días.

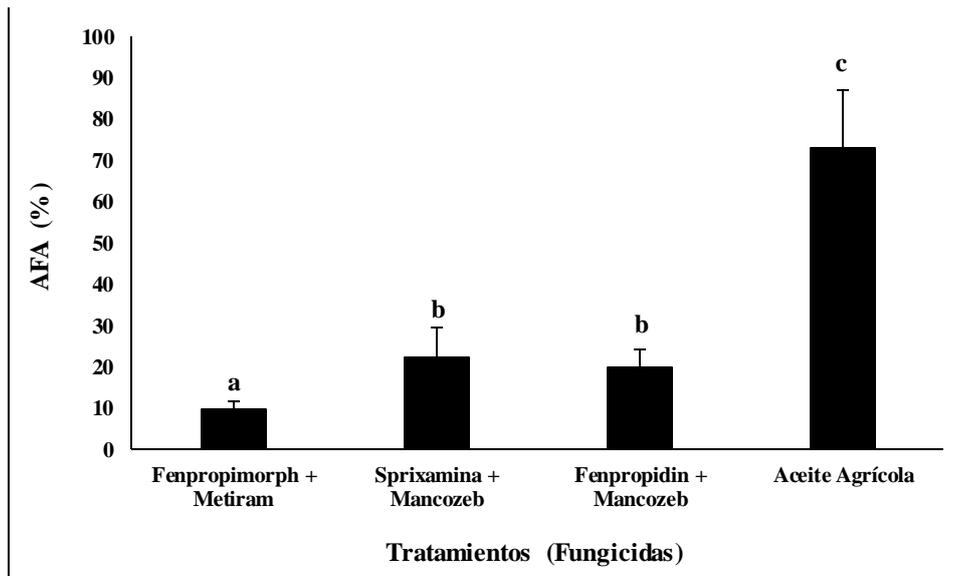


Figura 21. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 137 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

A los 158 días luego de aplicar los tratamientos antifúngicos, los valores de AFA registrados a nivel de campo se analizaron estadísticamente, donde se determinó la presencia de diferencias significativas ($F=385.4$, $P=0.000$). El tratamiento Metiram presentó el menor porcentaje de AFA, con 5.7%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos: Chlorothalonil (7.5%), Mancozeb (10.3%), y Aceite Agrícola (28.8%) quienes difirieron estadísticamente entre sí. No obstante, hay que aclarar que los valores de AFA reflejados por el tratamiento Aceite Agrícola, se registraron 24 días antes que los demás tratamientos (134 días), debido a que por el elevado porcentaje de AFA, las hojas fueron eliminadas (podadas) antes de los 158 días (Figura 22).

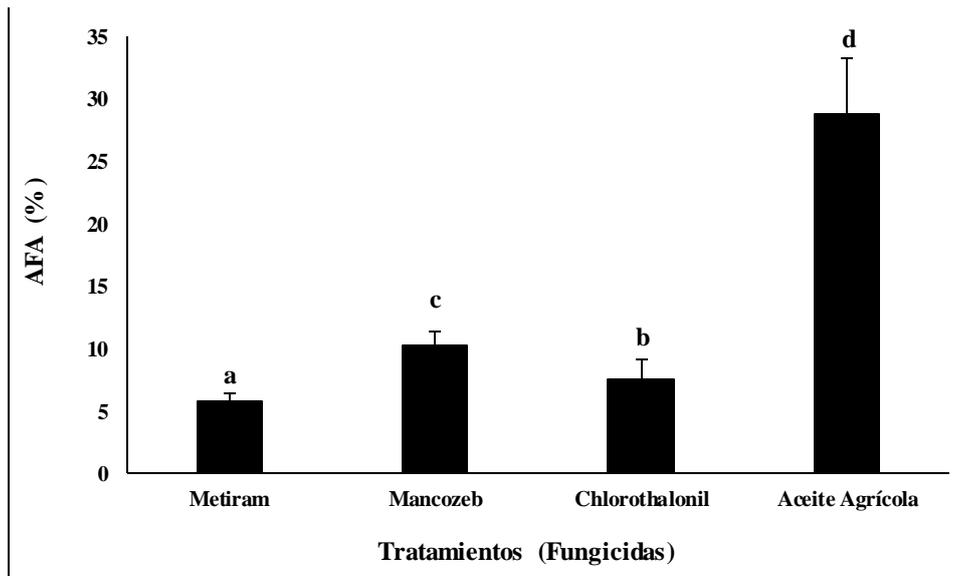


Figura 22. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 158 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

En la figura 23 se observa el efecto protector de los fungicidas, 156 días después de su aplicación. Se determinaron diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de AFA mostrados por las hojas de banano tratadas con los fungicidas ($F=201.5$, $P=0.000$), donde los tratamientos Epoxiconazole + Fenpropimorph, y Fenpropidin + Difenconazole provocaron los menores porcentajes de AFA, con 4.4% y 5.6% respectivamente, siendo estadísticamente similares entre sí, pero diferentes a los tratamientos Spiroxamine + Tebuconazole (10.4%), y Aceite Agrícola quien mostró el valor más alto de AFA (40.0%). Es de mencionar que la evaluación de las hojas de banano tratadas únicamente con Aceite Agrícola, se efectuó 29 días antes que los demás tratamientos (127 días), debido al elevado porcentaje de AFA, donde las hojas fueron eliminadas (podadas) antes de los 156 días.

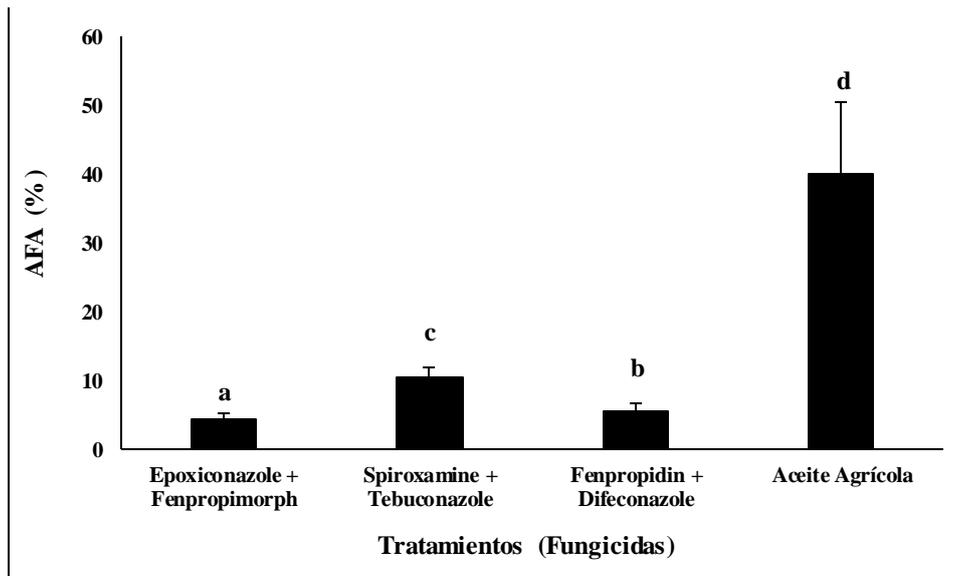


Figura 23. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 156 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

A los 147 días después de aplicar los fungicidas, los valores de AFA registrados a nivel de campo se analizaron estadísticamente, determinándose la existencia de diferencias significativas ($F=485.5$, $P=0.000$). El tratamiento Boscalid + Fenpropimorph presentó el menor porcentaje de AFA, con 6.1%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos: Isopirazam + Fenpropidin (7.8%), Fluopyram + Pyrimethanil (10.6%), y Aceite Agrícola (33.5%) quienes difirieron estadísticamente entre sí. Los valores de AFA detectados en hojas de banano tratadas con Aceite Agrícola, se registraron 20 días antes que los demás tratamientos (127 días), debido que al elevado porcentaje de AFA, las hojas fueron eliminadas (podadas) antes de los 147 días (Figura 24).

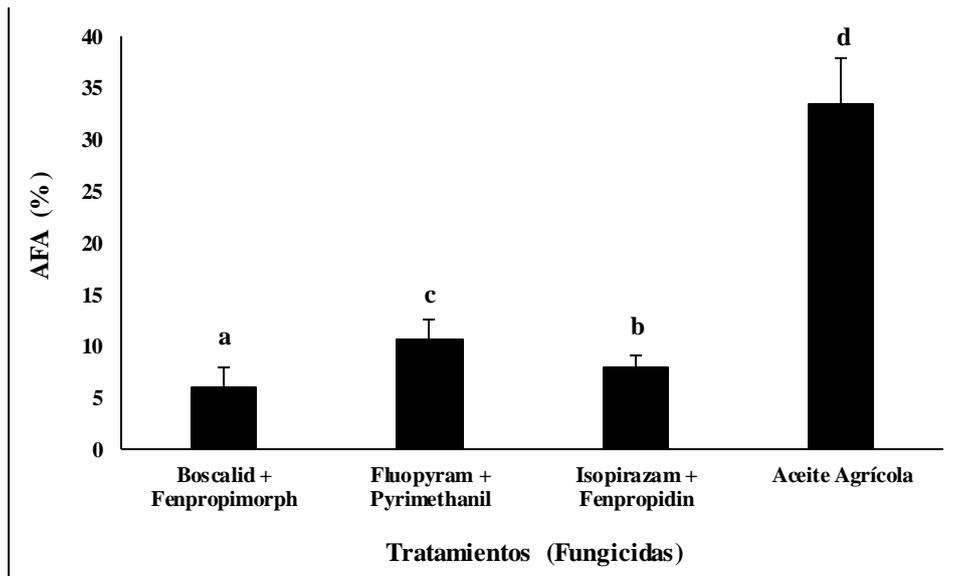


Figura 24. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 147 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

En la figura 25 se observa el efecto protector de los fungicidas, 140 días después de su aplicación. Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de AFA mostrados por las hojas de banano tratadas con los fungicidas ($F=96.4$, $P=0.000$), donde el tratamiento Metiram presentó el menor porcentaje de AFA, con 9.6%, siendo estadísticamente diferente a los demás tratamientos: Chlorothalonil (23.4%), Mancozeb (31.5%), y Aceite Agrícola (50.2%) quienes difirieron estadísticamente entre sí. Los valores de AFA detectados en hojas de banano tratadas con Aceite Agrícola, se registraron 13 días antes que los demás tratamientos (127 días), debido que al elevado porcentaje de AFA, las hojas fueron eliminadas (podadas) antes de los 140 días.

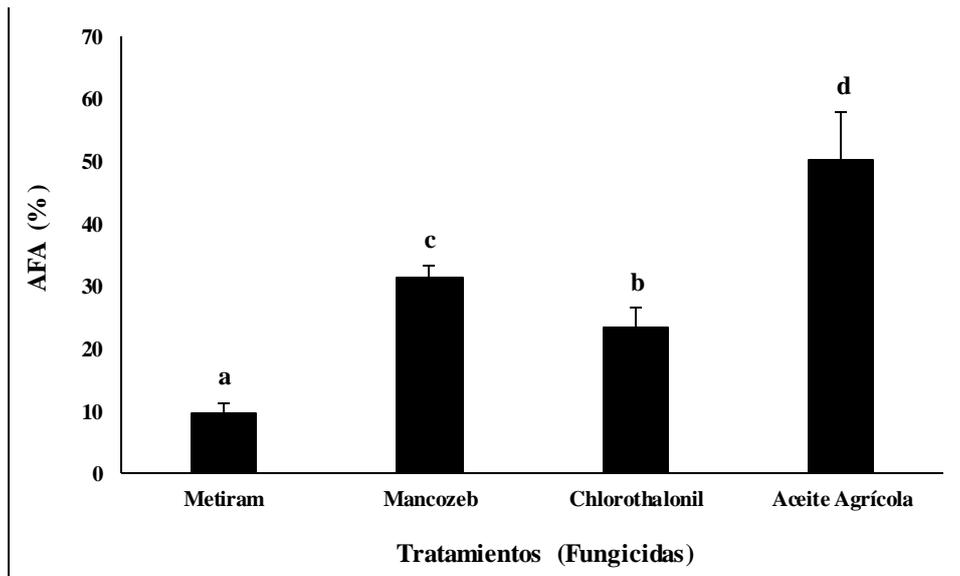


Figura 25. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 140 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

A los 131 días después de aplicar los fungicidas, el análisis estadístico realizado a los valores de AFA obtenidos a nivel de campo determinó la existencia de diferencias significativas ($F=147.2$, $P=0.000$). El tratamiento Diethofencarb + Fenpropimorph generó el menor porcentaje de AFA, con 3.5%, siendo estadísticamente diferente a los tratamientos Ciprodinil + Fenpropidin (7.6%), Ciprodinil + Spiroxamina (10.5%), y Aceite Agrícola (31.0%) quienes difirieron estadísticamente entre sí (Figura 26).

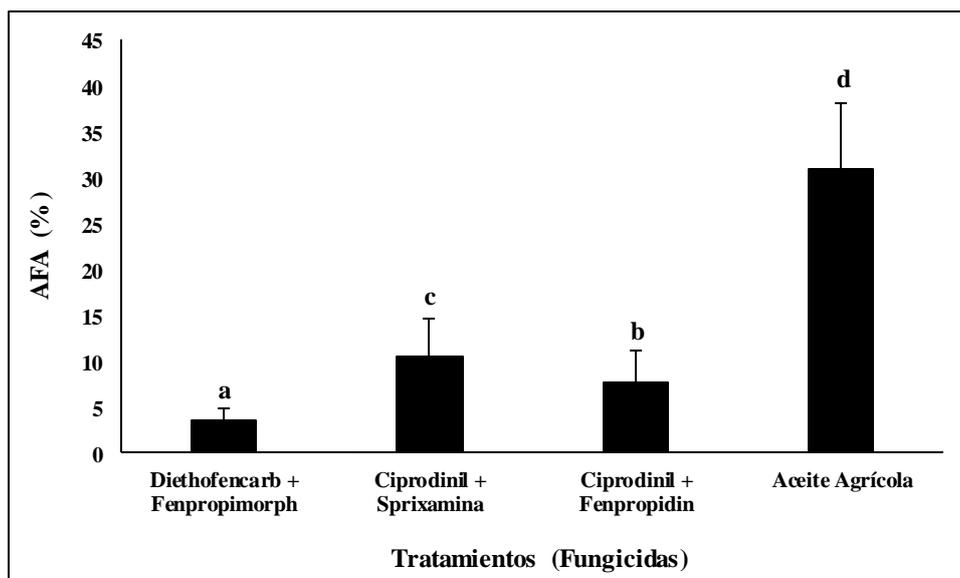


Figura 26. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 131 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

En la figura 27 se muestra el efecto de los fungicidas, 122 días después de su aplicación. Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de AFA en las hojas de banano tratadas con los fungicidas ($F=98.7$, $P=0.000$), donde los tratamientos Fenpropimorph y Fenpropidin generaron menores porcentajes de AFA, con 2.7% y 4.9% respectivamente, siendo estadísticamente similares entre sí, pero diferente a los tratamientos Spiroxamine (7.9%), y Aceite Agrícola (22.3%).

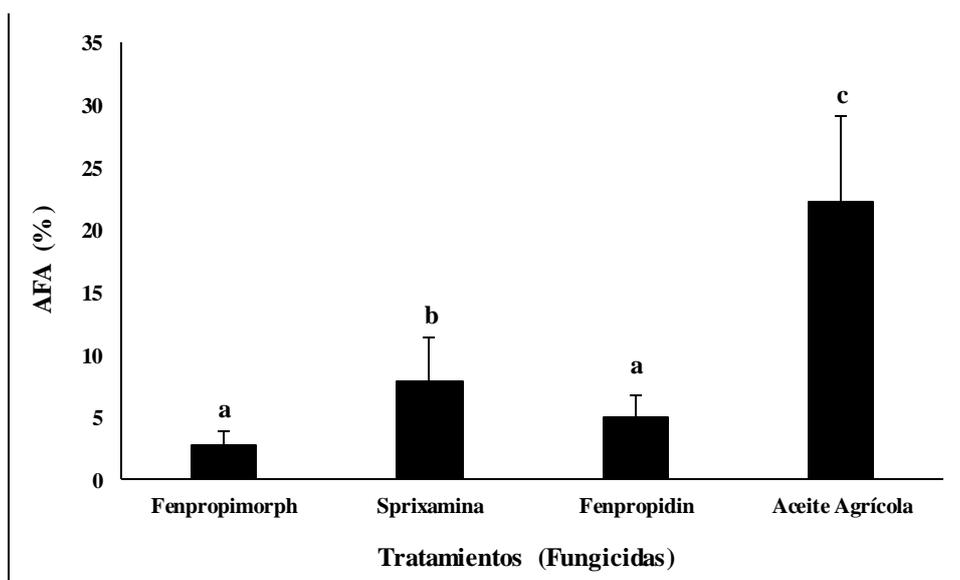


Figura 27. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 122 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

En la figura 28 se observa el efecto protector de los fungicidas, 115 días después de su aplicación. Se detectaron diferencias estadísticas significativas entre los porcentajes de AFA mostrados por las hojas de banano tratadas con los fungicidas ($F=50.4$, $P=0.000$), donde los tratamientos Metiram (2.9%) y Chlorothalonil (23.4%) presentaron los menores porcentajes de AFA, siendo estadísticamente similares entre sí, y diferentes a Mancozeb (6.1%), y Aceite Agrícola (12.8%).

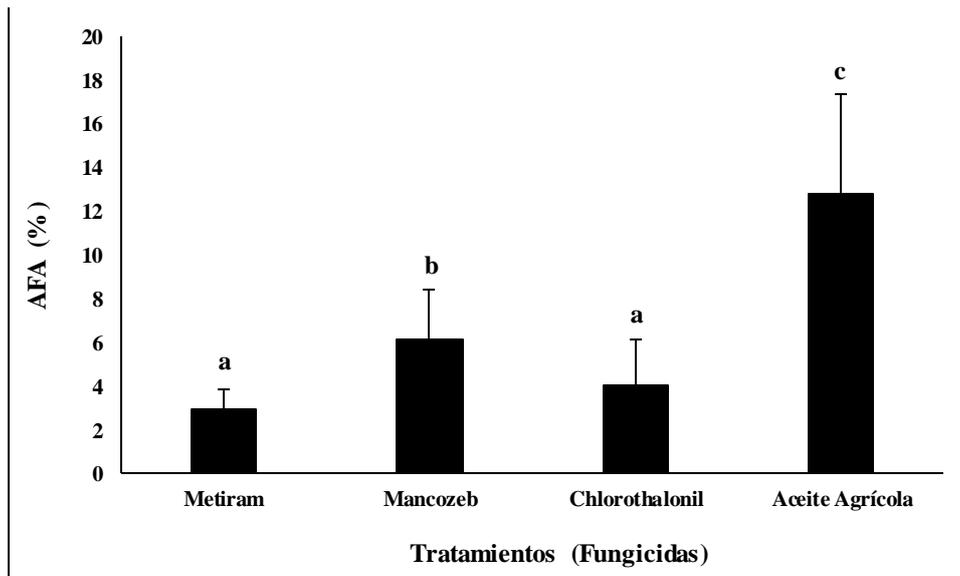


Figura 28. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 115 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

A los 107 días después de aplicar los fungicidas, el análisis estadístico realizado a los valores de AFA obtenidos a nivel de campo determinó la existencia de diferencias significativas ($F=37.2$, $P=0.000$). Los tratamientos Epoxiconazole + Fenpropimorph y Difeconazole + Fenpropidin redujeron el porcentaje de AFA, con valores de 2.7% y 4.0%, siendo estadísticamente similares entre sí, pero diferentes al tratamiento Aceite Agrícola que presentó 15.9% de AFA (Figura 29).

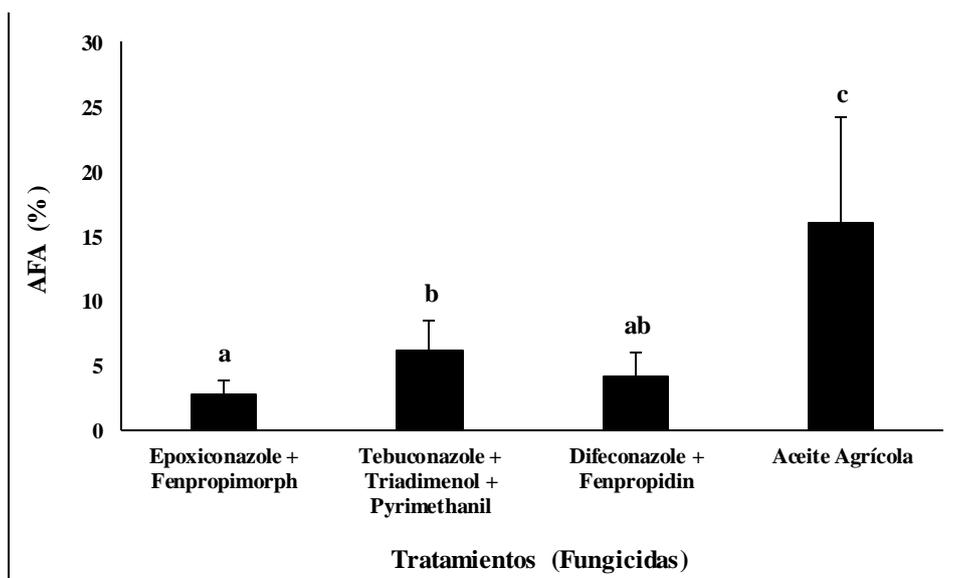


Figura 29. Porcentaje de área foliar afectada (AFA%) 107 días después de la aplicación de los tratamientos (fungicidas). Los valores representan el promedio de 20 plantas evaluadas, con su respectiva desviación estándar.

Considerando que la aplicación de los fungicidas en las respectivas hojas blanco, en su mayoría generaron diferentes periodos máximos de protección (residualidad), en la Tabla 5 se muestran el número de días de protección provocado por cada fungicida, y el porcentaje de AFA máximo, reflejado por las hojas evaluadas. En las cuatro primeras aplicaciones de los fungicidas (tratamientos) llevadas a cabo el 21 de abril, 28 de abril, 07 de mayo, y 16 de mayo del año 2020, los tratamientos Epoxiconazole + Fenpropimorph, Metiram, Pyraclostrobin + Fenpropimorph, y Fenpropimorph + Metiram, mostraron un mayor periodo de protección en número de días y menor porcentaje de AFA que los demás fungicidas, aplicados en las mismas fechas, con 169, 148, 160 y 172 días, y 33.3%, 31.3%, 29.0%, y 20.3% de AFA, respectivamente. Bajo las mismas condiciones, los días de protección otorgados por los demás fungicidas fueron menores, mientras que los porcentajes de AFA superiores a los tratamientos antes mencionados, mostrando rangos entre 120 a 151 días de protección y 22.5% a 78.1% de AFA, siendo el tratamiento Aceite Agrícola quien mostro la menor eficiencia para estas dos variables.

A partir de la quinta (23 de mayo de 2020), hasta la novena (26 de junio de 2020) aplicación de los tratamientos, el número de días de protección generado por los fungicidas fue similar, a excepción del Aceite Agrícola que mostró menor cantidad de días de resguardo, con diferencias que fueron de 31, 29, 20, 13, y 4 días menos, en relación al número de días que los demás fungicidas brindaron de protección. No obstante, la diferencia fue muy notoria cuando se comparó los porcentajes de AFA, donde los tratamientos Metiram, Epoxiconazole + Fenpropimorph, Boscalid + Fenpropimorph, Metiram, y Diethofencarb + Fenpropimorph, generaron los valores más bajos, luego que fueron aplicados de acuerdo al calendario planificado (6.6%, 4.4%, 6.1%, 4.6%, 3.5%), frente a los demás fungicidas. La aplicación de Aceite Agrícola presentó los valores más altos de AFA con 28.8%, 40.0%, 33.5%, 29.5%, y 31.0%, respectivamente.

Entre la décima (05 de julio de 2020), y la doceava (21 de julio de 2020) aplicación de los fungicidas, el número de días de protección brindado a las hojas de banano fue similar entre los tratamientos en cada fecha de aplicación, aunque varió entre los grupos de tratamientos aplicados en fechas distintas. Los periodos de protección detectados estuvieron en el rango de 107 a 122 días, sin embargo, los porcentajes de AFA fueron distintos entre los tratamiento, grupos de tratamientos y fechas de aplicación, donde los tratamientos Fenpropimorph,

Metiram, y Epoxiconazole + Fenpropimorph, generaron los valores más bajos de AFA con 2.7%, 2.9%, y 2.8%, respectivamente, en comparación a los demás tratamientos. El Aceite Agrícola continuó siendo el tratamiento que menor protección brindó a las hojas, ya que estas mostraron un mayor porcentaje de afectación del 22.3%, 12.8%, y 15.9% de AFA, respectivamente, en relación a los demás tratamientos.

Tabla 5. Tiempo de protección (residualidad) en días y porcentaje de área foliar afectada (AFA%) generada por la aplicación de cuatro tratamientos basados en fungicidas.

Fechas de aplicación de los tratamientos	Variables comparativas	TRATAMIENTOS (INGREDIENTES ACTIVOS)			
		GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
		Epoxiconazole + Fenpropimorph	Tebuconazole + Triadimenol + Spiroxamine	Difenoconazole + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
21 de abril de 2020	No. máximo de días de protección de la hoja	169	141	134	120
	AFA (%) última evaluación de hoja	33.3	48.3	45	61.8
		Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
28 de abril de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	148	141	134	127
	AFA (%) última evaluación de hoja	31.3	45	49	65
		Pyraclostrobin + Fenpropimorph	Trifloxystrobin + Spiroxamine	Azoxystrobin + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
07 de mayo de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	160	146	139	127
	AFA (%) última evaluación de hoja	29.0	49.3	47.5	78.1
		Fenpropimorph + Metiram	Spiroxamine + Mancozeb	Fenpropidin + Mancozeb	Aceite Agrícola (control)
16 de mayo de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	172	151	151	127
	AFA (%) última evaluación de hoja	20.3	22.5	24.4	73.0
		Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
23 de mayo de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	165	165	165	134
	AFA (%) última evaluación de hoja	6.6	12.4	9.6	28.8
		Epoxiconazole + Fenpropimorph	Spiroxamine + Tebuconazole	Fenpropidin + Difenoconazole	Aceite Agrícola (control)
01 de junio de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	156	156	156	127

	AFA (%) última evaluación de hoja	4.4	10.4	5.6	40.0
		Boscalid + Fenpropimorph	Fluopyram + Pyrimethanil	Isopirazam + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
10 de junio de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	147	147	147	127
	AFA (%) última evaluación de hoja	6.1	10.6	7.8	33.5
		Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
17 de junio de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	140	140	140	127
	AFA (%) última evaluación de hoja	4.6	7.1	5.5	29.5
		Diethofencarb + Fenpropimorph	Ciprodinil + Spiroxamine	Ciprodinil + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
26 de junio de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	131	131	131	127
	AFA (%) última evaluación de hoja	3.5	10.5	7.6	31.0
		Fenpropimorph	Spiroxamine	Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
05 de julio de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	122	122	122	122
	AFA (%) última evaluación de hoja	2.7	7.9	4.9	22.3
		Metiram	Mancozeb	Chlorothalonil	Aceite Agrícola (control)
12 de julio de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	115	115	115	115
	AFA (%) última evaluación de hoja	2.9	6.1	4.0	12.8
		Epoxiconazole + Fenpropimorph	Tebuconazole + Triadimenol + Spiroxamine	Difenoconazole + Fenpropidin	Aceite Agrícola (control)
21 de julio de 2020	No. máximo de días de actividad de la hoja	107	107	107	107
	AFA (%) última evaluación de hoja	2.8	6.1	4.0	15.9

4.1.2.2. Número de hojas fotosintéticamente activas

El análisis estadístico permitió detectar diferencias estadísticas significativas ($F=112.1$, $P=0.000$) en el número promedio de hojas fotosintéticamente activas por plantas, entre los tratamientos (grupos de ingredientes activos) al momento de la cosecha del racimo. En la Tabla 6 se aprecia claramente que el número de hojas fotosintéticamente activas fue mayor en el tratamiento, cuyos ingredientes activos antifúngicos estaban en el grupo 1, siendo estadísticamente diferente y superior a los tratamientos grupo 2, grupo 3, y grupo 4 (aceite agrícola), con 1.9, 1.5, y 5.0 hojas, respetivamente.

Tabla 6. Número de hojas fotosintéticamente activas por planta de banano, al momento de la cosecha del racimo. Los valores representan el promedio de 25 plantas evaluadas, con su respectivo error estándar.

TRATAMIENTOS (Ingredientes Activos)	No. de hojas Fotosintéticamente activas
Grupo 1	10.4 ± 0.27 a
Grupo 2	8.5 ± 0.17 b
Grupo 3	8.9 ± 0.21 b
Grupo 4 (aceite agrícola)	5.4 ± 0.11 c

4.2. DISCUSIÓN

Los efectos de la Sigatoka negra en el crecimiento, producción y calidad de la fruta de musáceas, debido al deterioro del área foliar se traducen en un menor llenado del fruto, disminución del peso del racimo y longitud de los dedos. Los efectos de esta enfermedad provocada por *M. fijiensis* no pasan desapercibidos en las plantaciones comerciales de banano en el trópico de Ecuador, donde genera daños en las unidades de producción que gradualmente pierden el vigor, debido a disminución de las reservas energéticas en el cormo y pseudotallo (Cedeño *et al.*, 2017). Para contrarrestar las consecuencias negativas que conlleva esta enfermedad fúngica, la industria bananera ecuatoriana ha recurrido al empleo de diversas moléculas químicas de acción antifúngica, con el propósito de evitar que su producción decaiga, ya que sin el uso de pesticidas, el peso de los racimos disminuiría hasta un 50%, lo cual causaría pérdidas del 100% de la producción por el deterioro en la calidad de la fruta (longitud, grosor, aspecto), (Romero y Guzmán, 2006; Guzmán *et al.*, 2013).

No obstante, el empleo sostenido e indiscriminado de varias moléculas antifúngicas ha generado poblaciones de *M. fijiensis* resistentes a las mismas, debido a los procesos de presión de selección, que dificulta aún más el manejo de la problemática fitosanitaria en banano. La demanda mundial por el consumo de esta fruta, la generación de fuentes de empleo y el ingreso de divisas por las exportaciones, exigen la búsqueda de alternativas económicamente viables y ambientalmente amistosas (Pérez-Vicente, 2013). En este sentido, en el presente trabajo de investigación se planteó dos estrategias de manejo de la enfermedad, basadas en una “mayor carga de fungicidas” y “menor carga de fungicidas”, empleando fungicidas con diferentes ingredientes activos, y así determinar si un mayor número de aplicaciones de estos antifúngicos ejercen realmente un efecto eficiente sobre el control del patógeno causante de la enfermedad.

Los porcentajes de infección temprana en la cuarta y quinta hoja de las plantas de banano tratadas con fungicidas, bajo las dos estrategias de manejo antes mencionadas, indican que la estrategia basada en una “menor carga de fungicidas” provocó menores porcentajes de infección durante los cinco años de evaluación. En la cuarta hoja se encontró una reducción del 81.0%, 77.1%, 87.3%, 100, y 67.7%, mientras que en la quinta hoja la reducción fue de

67.5%, 25.2%, 56.9%, 87,4%, y 19,7%, para los años 2015, 2016, 2017, 2018, y 2019, respectivamente, frente a los porcentajes de infección generados por la estrategia basada en una “mayor carga de fungicidas”, para los mismos periodos de tiempo. Esta reducción de la infección foliar puede estar asociada a varios factores, principalmente al tipo de moléculas antifúngicas usadas en cada una de las dos estrategias. En este sentido, los resultados indicarían que las moléculas empleadas en la estrategia basada en una “menor carga de fungicidas”, serían más eficientes para el control de *M. fijiensis*, a pesar de la baja frecuencia de aplicación. Esta variabilidad en la eficiencia de las moléculas para el control de *M. fijiensis* es esperable, debido a sus distintos mecanismos de acción, pérdida de sensibilidad y pureza de la misma, tal como lo menciona Sepúlveda (2015).

La disminución de los porcentajes de infección en las hojas cuatro y cinco, detectada para el año 2018 en las plantaciones de banano donde de forma separada se aplicó las dos estrategias de manejo del fitopatógeno (“mayor carga de fungicidas” y “menor carga de fungicidas”), estuvo estrechamente relacionada a la evolución semanal de la enfermedad, cuyos resultados fueron inferiores a los registrados en los demás años, por lo que a este año en particular se lo consideró atípico. La reducción de la infección por *M. fijiensis* en el año 2018, podría estar asociada a las condiciones climáticas atípicas de ese periodo, caracterizado por una mengua de las precipitaciones en la época lluviosa, y la disminución de la humedad relativa promedio, durante todo el año, concomitante a lo mencionado por Churchill (2011).

Por otra parte, durante el año 2019 los porcentajes de infección en las hojas cuatro y cinco, bajo las dos estrategias de control fueron superiores, mientras que el número promedio de hojas en plantas de 3 m, cero semanas, y once semanas, se redujo, en comparación a los valores registrados en los años anteriores. Esta reducción del número de hojas por planta coincide con el aumento del porcentaje de infección foliar en las hojas cuatro y cinco, en comparación a los años 2015, 2016, 2017, y 2018. Este fenómeno es comprensible al comparar la dinámica y fluctuación semanal de la enfermedad y el número de hojas por planta, donde los niveles de infección fueron mayores a los otros años estudiados y concentrados en la época climática lluviosa, decayendo gradualmente conforme disminuían las lluvias en la época seca. El comportamiento más infeccioso de *M. fijiensis* durante el año 2019, seguramente estaría relacionado al aumento de las precipitaciones, principalmente en la época lluviosa de ese periodo. La actividad patogénica de *M. fijiensis* se ve estimulada por

condiciones ambientales favorables, y el aumento de las precipitaciones en un determinado periodo de tiempo, exacerba su proceso infeccioso en las plantaciones de banano, situación ampliamente reconocida en la literatura científica (Kumar *et al.*, 2015; Landry *et al.*, 2017; Strobl & Mohan, 2020).

En lo referente al número de hojas promedio en plantas de cero semanas y once semanas, la estrategia basada en una “menor carga de fungicidas” generó valores superiores a la estrategia “mayor carga de fungicidas”, con diferencias de 3.7%, 1.4%, 2.1%, 4.2%, y 4.5% para el número de hojas en plantas de cero semanas de los años 2015, 2016, 2017, 2018, y 2019, mientras que en plantas de once semanas estas diferencias se dieron en los años 2015 y 2018, con 8.4%, y 6.3%, respectivamente. Es bien conocido que la presencia de un mayor número de hojas en las diferentes etapas fisiológicas del banano, mejora la productividad del cultivo (García-Regalado *et al.*, 2019), ya que el proceso fotosintético realizado por más hojas, asegura una mejor acumulación de reservas de carbohidratos, durante el llenado de los frutos, concomitante a lo señalado por (Castillo-Arévalo & Jiménez-Martínez, 2020).

Considerando que la estrategia basada en una “menor carga de fungicidas”, emplea menos pesticidas y ciclos de aplicación (fumigación aérea), era de esperar que los costos de producción sean menores a los generados por su contraparte, basada en una “mayor carga de fungicidas”. La reducción de los costos de producción (USD ha⁻¹ año) durante los cinco años que duró el estudio, estuvo dentro del rango del 25.7% (324.33 USD) a 42.8% (690.04 USD), lo cual resulta en un ahorro económico significativo, si se toma en cuenta la superficie de banano que posee un empresario bananero promedio en la región Litoral del Ecuador. El ahorro obtenido con un adecuado empleo de ingredientes activos antifúngicos eficientes, resultaría atractivo para el productor bananero, especialmente si se considera el hecho que el manejo y control de *M. fijiensis* en plantaciones de banano, actualmente representa entre el 20% y 30% de los costos de producción (Rey & Mira, 2010; Gómez-Correa *et al.*, 2017).

Estos resultados son inesperados, prometedores y cuestionan que el empleo de mayor número de fungicidas y frecuencias de aplicación, reducen el impacto negativo que genera *M. fijiensis* en las plantaciones de banano, paradigma hasta ahora bien posicionado por la industria bananera ecuatoriana. Además, los resultados aquí mostrados constituyen una línea

base para futuros programas de manejo de Sigatoka negra, empleando fungicidas cuyos ingredientes activos sean más eficientes frente a *M. fijiensis*.

Considerando un enfoque amigable para el ambiente, los resultados aquí presentados muestran que existen estrategias para el manejo de la enfermedad Sigatoka negra, económicamente viables y ecológicamente sustentables, que reducen el impacto ambiental (contaminación del aire, suelo y agua) generado por la industria bananera.

En relación al segundo experimento, los resultados demuestran una variabilidad en las respuestas del fitopatógeno a las diversas moléculas antifúngicas empleadas, pese a haber sido aplicadas de acuerdo a las especificaciones técnicas, fechas y condiciones similares. Para todos los ciclos de aplicación, la tendencia de respuesta del microorganismo causante de la enfermedad fue similar, para cada grupo de moléculas antifúngicas, donde los ingredientes activos del grupo 1 de fungicidas, generaron los menores porcentajes de AFA en los 12 ciclos de aplicación, con rangos de AFA% que fueron entre 1.8 a 4.9 veces, 1.3 a 5.1 veces, y 4.4 a 11.1 veces menores a los generados por los grupos 2, 3 y 4 (aceite agrícola) de fungicidas. En este sentido, investigaciones sobre la eficiencia y/o sensibilidad de distintas moléculas químicas para el control de *M. fijiensis* en banano, dan cuenta que no hay uniformidad en su capacidad de control, y que por el contrario, es común detectar variabilidad en las mismas, generando programas de contención de la enfermedad ineficientes, tal como lo menciona Villegas-Escobar *et al.* (2016).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La estrategia de manejo y control de *M. fijiensis* agente causal de la enfermedad Sigatoka negra en banano, basada en una “menor carga de fungicidas” resultó ser más eficiente, generando porcentajes de infección menores en la cuarta y quinta hoja, mayor número promedio de hojas en plantas de tres metros, cero semanas y once semanas, durante los cinco años de evaluación a nivel de plantaciones comerciales, en comparación a la estrategia “mayor carga de fungicidas”.
- Una menor cantidad, frecuencia y ciclos de aplicación de fungicidas se vio reflejada en una disminución significativa de los costos de producción por unidad de superficie (USD ha⁻¹ año), dentro del rango de 25.7% (324.33 USD) a 42.8% (690.04 USD).
- El conjunto de fungicidas del grupo 1 (Epoconazole, Fenpropimorph, Metiram, Pyraclostrobin, Epoconazole, Boscalid, Diethofencarb) aplicados solos o en combinaciones durante 12 ciclos de fumigación aérea, resultaron ser más efectivos para el control de Sigatoka negra, que los grupos de fungicidas 2, 3 y 4 (aceite agrícola), brindando mayor tiempo de protección a las hojas de banano, cuya diferencia en la mitad de la época lluviosa llegó a ser de 28 días, 35 días, y 49 días, mientras que para el final de la época lluviosa alcanzó los 21 días, 21 días y 45 días, con relación a los demás grupos de ingredientes activos antifúngicos, respectivamente.
- Los ingredientes activos antifúngicos del grupo 1 (Epoconazole, Fenpropimorph, Metiram, Pyraclostrobin, Epoconazole, Boscalid, Diethofencarb), aplicados solos o en combinaciones durante 12 ciclos de fumigación aérea, resultaron ser más efectivos para el control de Sigatoka negra, que los grupos de fungicidas 2, 3 y 4 (aceite agrícola), generando una menor AFA%, llegando a ser del 15%, 11.7%, y 28.5% menor en la mitad de la época lluviosa, mientras que para la mitad de la época seca alcanzó el 5.2%, 2.2%, y 19.6% menos, con relación a los demás grupos de ingredientes activos fungicidas, respectivamente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Ampliar este tipo de estudios a otras regiones ecológicas del país, donde se cultive banano con fines de exportación.
- Incluir en los programas de prevención, manejo y control de la enfermedad Sigatoka negra, la estrategia basada en una “menor carga de fungicidas”, con el propósito de reducir el impacto fitosanitario causado por el ataque de *M. fijiensis* en las plantaciones de banano, minimizar el impacto ambiental (contaminación del aire, suelo y agua) causado por el uso frecuente e indiscriminado de fungicidas, y disminuir significativamente los costos de producción generados por el alto número de ciclos de aplicación de pesticidas, destinados al control de la enfermedad.
- Incluir en los programas de prevención, manejo y control de la enfermedad Sigatoka negra, fungicidas con ingredientes activos eficientes, como los del grupo 1 (Epoconazole, Fenpropimorph, Metiram, Pyraclostrobin, Epoconazole, Boscalid, Diethofencarb) empleados en este estudio.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, M., Alvarado, Y., Cruz, M., Leiva, M. & B. Roque. 2004. Evaluación en casa de cultivo de la respuesta a la sigatoka negra de dos cultivares de *Musa* mediante la inoculación artificial de suspensiones conidiales de *Pseudocercospora fijiensis*. *Bioteología Vegetal*, 4(2): 77-84.

Aguilar, A., García, A., Odrizola, O., Macedo, G., Ogura, T., Manzo, G., James, A., Islas, I. & M. Beltrán. 2014. Chemical management in fungicide sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* collected from banana fields in México. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(1): 359-364.

Amari, E., Dick, E., Kone, D., Abo, K. & K. Kobenan. 2011. Response to juglone toxic effect in various genotypes of banana (*Musa* AA, AAA, AAB, AAAA, AAAB). *Agronomie Africaine*, 23(3): 247-258.

Arregui, MC. & E. Puricelli. 2013. Fungicidas. Mecanismos de Acción de Plaguicidas. Universidad Nacional de Rosario (UNR). Edición 1. Ed. UNR. 265 p.

Balardin, R., Madalosso, M., Debortoli, M. & G. Lenz. 2010. Factors affecting fungicide efficacy in the tropics. Odile Carisse (Ed.) En: Fungicides. p. 23-38.

Barreto-Macías, A., Macías-Hernández, D., Valdez-Rivera, D. & J. Naula-Hasing. 2019. Comportamiento evolutivo de la sigatoka negra (*Mycosphaerella Fijiensis* Morelet) sobre las características físicas de los suelos bananeros. *Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas MAPA*, 3(15): 136-152.

Bebber, D.P. 2019. Climate change effects on Black Sigatoka disease of banana. *Phylosophical Transactions Royal Society B*, 374: 1-7.

Castillo-Arévalo, T. & E. Jiménez-Martínez. 2020. Incidencia y severidad de enfermedades asociadas al cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en Rivas, Nicaragua. *La Calera*, 20(35), 132-139.

Cedeño-García, G., Suárez-Capello, C., Vera-Coello, D., Fadda, C., Jarvis, D. & P. de Santis. 2017. Detección temprana de resistencia a *Mycosphaerella fijiensis* en genotipos locales de Musáceas en Ecuador. *Scientia agropecuaria*, 8(1): 29-42.

Chillet, M., Castelan, F., Abadie, C., Hubert, O. & L. De Bellaire. 2013. Necrotic leaf removal, a key component of integrated management of *Mycosphaerella* leaf spot diseases to improve the quality of banana: the case of Sigatoka disease. *Fruits*, 68: 271-277.

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*, 12:307-328.

Daniels, JP. & R. Latin. 2013. Residual efficacy of fungicides for controlling brown patch on creeping bentgrass fairways. *Plant Disease*, 97:1620-1625.

Elbehri, A., Calberto, G., Staver, C., Hospido, A., Roibas, L., Skully, D., Siles, P., Arguello, J., Sotomayor, I. & A. Bustamante. 2015. Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 179 p.

Fouré, E. 1985. Black leaf streak disease of bananas and plantains (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), study of the symptoms and stages of the diseases in Gabon. IRFA, Paris, France. 303 p.

García-Regalado, J., Marcillo-Plaza, A. & C. Palacios-Sánchez. 2019. Amenazas de las manchas foliares de Sigatoka (*Mycosphaerella* spp.) en la producción sostenible de banano en el Ecuador. *Revista Verde*, 14(5): 591-596.

Gauhl, F, 1994. Epidemiology and ecology of black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) on plantain and banana in Costa Rica, Central America. PhD, thesis originally presented in German. INIBAP, Montpellier, Francia. 120 p.

Gómez-Correa, J.C., Torres-Aponte, W.S., Cayón-Salinas, D.G., Hoyos-Carvajal, L.M. & D.A. Castañeda-Sánchez. 2017. Modelación espacial de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* M. Morelet) en banano cv. Gran Enano. *Revista Ceres*, 64(1): 47-54.

Guzmán, M. 2006. Estado actual y perspectivas futuras del manejo de sigatoka negra en América Latina. Memorias de la XVII Reunión ACORBAT. Joinville, Santa Catarina, Brasil. 83-91 p.

Guzmán, R., Orozco-Santos, M. & L. Pérez-Vicente. 2013. Sigatoka leaf spot diseases of bananas: dispersion, impact and evolution of management strategies in Latin American-Caribbean region. ACORBAT. XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos), (9 a 13 de setembro de 2013). Fortaleza C.E. Brazil. 98 – 116 p.

Jaramillo-Aguilar, E., Barrezueta-Unda, S., Luna-Romero, E. & S. Castillo-Herrera. 2017. Efecto biofungicida del gel de Aloe vera sobre *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra en Musa (AAA). *Scientia agropecuaria*, 8(3): 273-278.

Jones, D.R. 2000. Sigatoka. *In: Diseases of Banana, Abacá and Enset*. Jones, D.R. (editor). CAB International, Wallingford, UK. 79-92 p.

Jones, R.D. 2002. The distribution and importance of the *Mycosphaerella* leaf spot diseases of banana 25-42 p. *In: Proceedings of the Workshop on Mycosphaerella leaf spot diseases held in San José Costa Rica on 2023 May 2002*. Jacome, L., Lepoivre, P., Marin, D., Ortiz, R., Romero, R. and Escalant, J.V. (editors). The International Network for the Improvement of Banana and Plantain. Montpellier, France. 317 p.

Kumar, M., Balamohan, T.N., Jeyakumar, P. & N. Seenivazan. 2015. Correlation and regression studies on weather variables on sigatoka leaf spot in banana cv Grand Naine. *International Journal of Farm Sciences*, 5(4): 229-235.

Landry, C., Bonnot, F., Ravigné, V., Carlier, J., Rengifo, D., Vaillant, J. & C. Abadie. 2017. A foliar disease simulation model to assist the design of new control methods against black leaf streak disease of banana. *Ecological Modelling*, 359: 383-397.

MAE (Ministerio de Ambiente del Ecuador). 2013. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Quito, Ecuador, Subsecretaría de Patrimonio Natural. 163 p.

Marcillo, J. 2014. Contribución económica de la biodiversidad intraespecífica: Caso *Musas* Spp., en El Carmen y La Maná a nivel del pequeño productor. Editora Académica Española, Madrid, España. 192 p.

Mena-Espino, X. & Y. Couoh-Uicab. 2015. Efectos de los plaguicidas utilizados para el control de la Sigatoka negra en plantaciones bananeras en México, así como su efecto en el ambiente y la salud pública. *Tecnociencia Chihuahua*, 9(2): 115-122.

Mourichon, X. & R.A. Fullerton. 1990. Geographical distribution of the two species *Mycosphaerella musicola* Leach (*Cercospora musae*) and *M. fijiensis* Morelet (*C. fijiensis*), respectively agents of sigatoka disease and black leaf streak disease in bananas and plantains. *Fruits*, 45:213-218.

Noar, R. & M. Daub. 2016. Transcriptome sequencing of *Mycosphaerella fijiensis* during association with *Musa acuminata* reveals candidate pathogenicity genes. *BMC Genomics*, 17(690): 1-25.

Hidalgo, M., Tapia, A., Rodríguez, W. & E. Serrano. 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.

Orozco-Santos, M., Orozco-Romero, J., Pérez-Zamora, O., Manzo-Sánchez, G., Farías-Larios, J. & W. da Silva-Moraes. 2008. Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*, 33(3): 189-196.

Pérez-Vicente, L. 2013. Strategies to reduce the use of agrochemicals in banana and plantain. ACORBAT. XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos), (9 a 13 de setembro de 2013). Fortaleza C.E. Brasil. 118 - 131 p.

Quevedo-Guerrero, J., Infante-Noblecilla, J.C. & R.M. García-Batista. 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 Agroecosistemas*, 6(1), 128-136.

Rey, V. & J.J. Mira. (2010). Evolución del manejo químico de Sigatoka negra en una finca bananera en Urabá. **In:** XIX Reunión Internacional ACORBAT, Medellín. Anales, Asociación de Bananero de Colombia. p. 570-571.

Rodríguez, C., Cayón, D. & J. Mira. 2012. Effect of number of functional leaves at flowering on yield of banana grand naine (*Musa* AAA Simmonds). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(2): 6585-6591.

Romero, R.A. & M. Guzmán. 2006. Efecto de la enfermedad de la Sigatoka negra en la producción y calidad. **In:** CORBANA – INIBAP - MUSALAC. Manejo de la Sigatoka negra en banano y plátano en América Latina y el Caribe. Resúmenes, Congreso Internacional, San José, Costa Rica, 21-23 p.

Sagratzki, P., Eiji, R., Gasparotto, L., Albuquerque, R. & J. Teodoro de Souza. 2015. Biological control of banana black Sigatoka disease with *Trichoderma*. *Ciência Rural*, 45(6): 951 – 957.

Sánchez, E., Hidalgo, L., Pacheco, R., Chávez, T., Navarrete, O. & E. Santos. 2016. Identification of differentially-expressed genes in response to *Mycosphaerella fijiensis* in the

resistant *Musa* accession 'Calcutta-4' using suppression subtractive hybridization. *PLoS ONE*, 11(8): 1-17.

Sepúlveda, L. 2016. Caracterización fenotípica de *Mycosphaerella fijiensis* y su relación con la sensibilidad a fungicidas en Colombia. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 34(1): 1-21.

Stover, R.H. 1971. A proposed international scale for estimating intensity of banana leaf spot (*Mycosphaerella musicola* Leach). *Tropical Agriculture (Trinidad)* 48(3): 185-196.

Stover, R.H. & J.D. Dickson. 1976. Banana leaf spot caused by *Mycosphaerella musicola* and *M. fijiensis* var. *difformis*: a comparison of the first Central American epidemics. *FAO Plant Protection Bulletin*, 24:36-42.

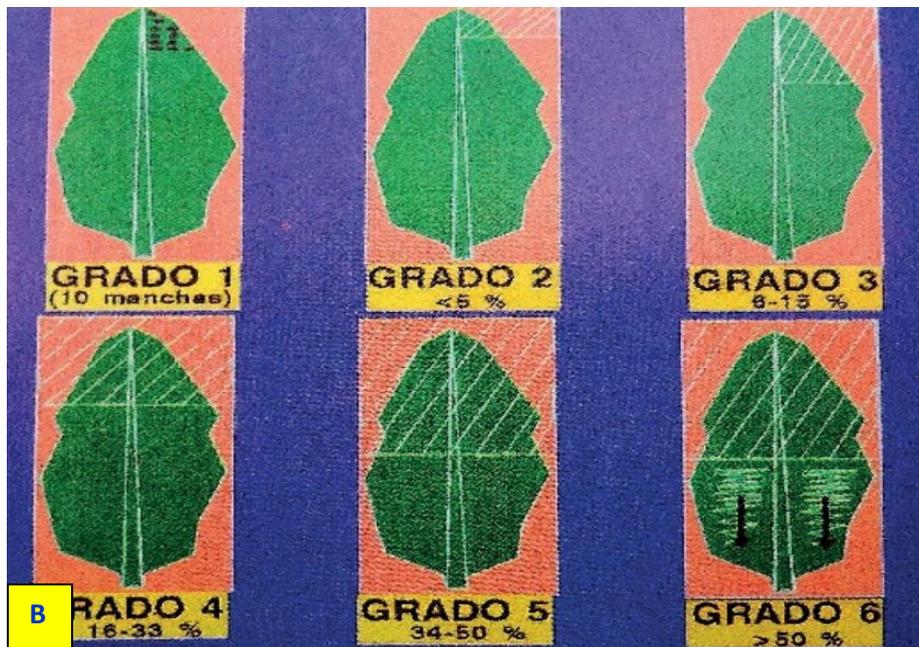
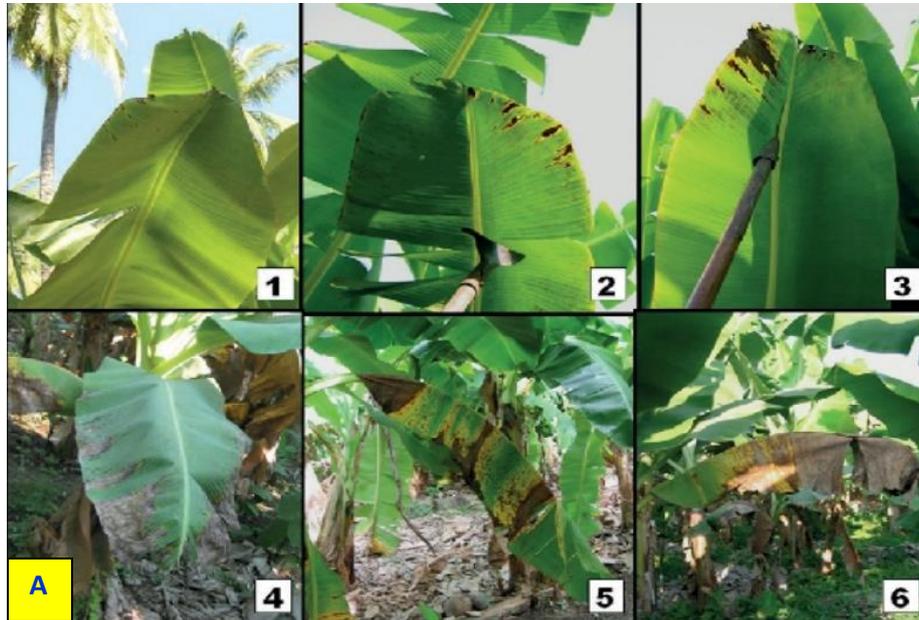
Strobl, E. & P. Mohan. 2020. Climate and the Global Spread and Impact of Bananas' Black Leaf Sigatoka Disease. *Atmosphere*, 11(947): 1-19.

Tuo Seydou., Amari, G., Chérif, M., Ouédraogo, L., Kassi, F., Kouamé, G., Camara, B. & D. Koné. 2017. Agronomic performance of plantain cultivars (*Musa* spp.) in efficient mixing situation for the control of black sigatoka in Southern Côte d'Ivoire. *Asian. Journal Plant Pathological*, 11: 1-9.

Vásquez-Orozco, R. 2017. El impacto del comercio del Banano en el desarrollo del Ecuador. Asociación de Funcionarios y Empleados del Servicio Exterior Ecuatoriano (AFESE). 167-182 p.

Villegas-Escobar, V., Rey, V., Mosquera, S., Gutiérrez, J.A. & J.D. Sánchez. 2016. Incorporation of a microbial fungicide into a chemical fungicide program for the control of black sigatoka disease in banana plants. *In* Köhl, J. & M. Bardin. Proceedings of the Meeting "Biocontrol and Microbial Ecology". IOBC-WPRS Working group "Biological and Integrated Control of Plant Pathogens". Biological and Integrated Control of Plant Pathogens. Berlín, Alemania. 116: 74-78.

ANEXOS



Figuras A y B. Representación fotográfica y esquemática de los seis grados o niveles de la escala de Stover (1971), modificada por Gauhl (1990), con que se realizará la evaluación de la enfermedad sigatoka negra en banano.