

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
**Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano, métodos de
control y manejo: Revisión de literatura**

Estudiante

Omar Andrés Velez Chang

Asesores

Carolina Avellaneda, Ph.D.

Gloria E. Arévalo, Dra.

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ROGEL CASTILLO

Director Departamento Ciencia y Producción Agropecuaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Metodología.....	11
Estrategia de Búsqueda	11
Criterios de Inclusión y Exclusión.....	11
Resultados y Discusión.....	12
Aspectos Generales del Banano	12
Morfología del Banano	13
La sigatoka negra en el Banano	15
Origen e Historia de la Sigatoka negra.....	15
Sintomatología	17
Efecto de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> en la Planta del Banano	18
Epidemiología	19
Métodos de Control y Manejo.....	21
Impacto de la Sigatoka negra en la Cadena de Valor de la Industria Bananera.....	27
Impacto Agroambiental	28

Impacto Socioeconómico de la Sigatoka negra en las Fincas y Productores Bananeros	29
Conclusiones	31
Recomendaciones	32
Referencias.....	33

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Taxonomía del banano (<i>Musa x paradisiaca</i>)	12
Cuadro 2 Taxonomía de la Sigatoka negra (<i>M. fijiensis</i>)	16

Índice de Figuras

Figura 1 Distribución de Sigatoka Negra en América Latina y el Caribe	16
Figura 2 Estados del avance de la sintomatología ocasionada por la Sigatoka negra.	17
Figura 3 Ciclo de vida de Sigatoka negra en Banano (Musa spp).....	18

Resumen

La Sigatoka negra es considerada una de las enfermedades más importantes en el banano a nivel latinoamericano, indudablemente, conocerla es un punto de partida esencial para el desarrollo de las plantaciones bananeras. En este sentido, esta investigación se llevó a cabo con el propósito de recopilar información de la Sigatoka negra y su impacto negativo para los productores en la producción y comercialización del banano. La síntesis de los datos se realizó a través de artículos, revistas científicas, tesis y libros. Entre los hallazgos más importantes se destacan los impactos negativos de la enfermedad a los actores de la cadena de valor, a las condiciones socioeconómicas de los productores, al ambiente y a la salud de las poblaciones cercanas a las plantaciones bananeras. Asimismo, se resaltó que, aunque los métodos más efectivos son los tratamientos químicos y las prácticas culturales, sin un manejo integrado para la enfermedad resulta complicada la erradicación de esta dentro de las plantaciones de banano. Finalmente, los países latinoamericanos se encuentran ante el desafío de implementar estrategias integradas, con el fin de combatir esta enfermedad que amenaza con los medios de vida de los productores bananeros.

Palabras Clave: Cultivo de banano, enfermedad foliar, enfermedades en el banano, epidemiología, sigatoka negra.

Abstract

Black Sigatoka is considered one of the most important diseases in banana in Latin America, undoubtedly, knowing it is an essential starting point for development in banana plantations. In this sense, the purpose of this research was collect information about the Black Sigatoka and its negative impact for producers in the production and marketing of bananas. The data were collected through articles, scientific journals, theses, and books. Among the most important findings are the negative impacts of the disease on the actors of the value chain, on the socio-economic conditions of the producers, on the environment and on the health of the populations near the banana plantations. It was also highlighted that, although the most effective methods are chemical treatments and cultural practices, without integrated management of the disease, it is becomes difficult to eradicate it within banana plantations. Finally, Latin American countries are faced with the challenge of implementing integrated strategies to combat this disease that threatens the livelihoods of banana producers.

Keywords: Banana crop, banana diseases, black sigatoka, epidemiology, foliar diseases.

Introducción

El banano es una fruta altamente producida y consumida a nivel mundial. Además, es cultivado en todas las regiones tropicales y producido en varios países de América Latina, como lo son: Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Panamá, y Perú (con banano orgánico). En específico, Ecuador llega a ser el primer productor del mundo (Vásquez Orozco 2017). Como alimento básico, el banano es la fruta fresca más exportada del mundo; asimismo, contribuye a la seguridad alimentaria de millones de personas en el planeta. Aparte de la exportación, en algunas regiones también se cuenta con la producción para consumo interno, y gracias a estas dos formas de comercio, los países resultan beneficiados teniendo en cuenta las oportunidades de trabajo en toda la cadena de valor de la industria.

La característica diferenciadora del banano es su color amarillo, es de color verde hasta que este llega a madurar. Asimismo, este cuenta con distintas formas, llegando a tener hasta 1000 variedades diferentes de bananos. En este contexto, una de las variedades, específicamente Cavendish dulce y sin semilla, es la más producida y de la cual depende la industria actual (FAO 2016). Al ser una planta perenne, esta fruta se cultiva y se puede cosechar durante todo el año, ya que, sus partes externas mueren y son posteriormente reemplazadas por nuevos hijos que vienen creciendo desde su base; por ende, esta planta se puede cosechar después de 8 a 10 meses posterior a la siembra. La planta cuenta con un bulbo (falso tallo) con capacidad de rebrote cada año y hojas grandes. La inflorescencia de esta planta da lugar al llamado racimo de plátano o banano, compuesto por manos que a su vez están estructuradas por dedos, o comúnmente llamado frutos (Smith et al. 2010).

Considerando que este cultivo representa un importante ingreso en las economías Latinoamericanas, su investigación y desarrollo son factores críticos que afectan las condiciones socioeconómicas de todos los actores de la cadena de valor en la industria bananera (WRM 2004). En este contexto, se considera a la Sigatoka negra como el componente más importante que limita la

producción del banano (Álvarez et al. 2013). Esta es considerada una enfermedad foliar que afecta la producción comercial de bananos y plátanos (*Musa* spp.) (Marín et al. 2007). Sin embargo, la condición climática puede ser la diferencia entre altas pérdidas, insatisfacción en el mercado, o un año rentable comercialmente hablando. Ante esta situación, resulta importante crear e implementar mecanismos de mitigación de los impactos económicos, tales como campañas de prevención y control de esta enfermedad en las plantaciones bananeras.

La sigatoka negra es causada por un hongo, denominado *Mycosphaerella fijiensis*, siendo este el causal de daños en el área foliar fotosintética de la planta del banano; en consecuencia, las frutas del racimo crecen con menor peso del que normalmente tiene una planta completamente sana, aparte de presentar todos estos efectos, la calidad de la fruta llega a tener problemas en su maduración, observándose en una baja producción (Chillet et al. 2009). Conforme la investigación en torno a conocer esta enfermedad va avanzando, la escala de Fouré establece seis estados sintomatológicos.

La forma de propagarse de este hongo es por medio del viento, el movimiento de las esporas se ve facilitado por la lluvia, y en condiciones de alta humedad. En términos científicos, las zonas más afectadas se caracterizan por tener una humedad relativa mayor al 80%, una precipitación anual mayor a 1400 mm, y una temperatura promedio entre 23 a 28 °C (ICA 2008).

Teniendo en cuenta los antecedentes de la enfermedad anteriormente expuestos, esta revisión bibliográfica tiene como objetivos identificar los factores de relación entre el banano y la sigatoka negra, y caracterizar los métodos de control físico, químico, biológico y culturales existentes. Logrando así, aportar a la comunidad agrícola conocimiento para comprender de una mejor manera la dispersión del hongo y sus medidas de mitigación en las plantaciones de banano.

Metodología

Estrategia de Búsqueda

La revisión de literatura se realizó entre los meses de enero a junio del año 2021, obteniendo información de búsquedas de artículos en bases de datos como Pubmed, Google Académico, ICA Instituto Colombiano Agropecuario, Sciencedirect, Biblioteca Wilson Popenoe, entre otras. De igual manera, en páginas oficiales como la FAO (Food and Agricultural Organization). Estas bases de datos fueron elegidas ya que se encontró una gran variedad de información disponible, además de una facilidad de uso y numerosas investigaciones actualizadas.

Se emplearon palabras clave, tales como Sigatoka negra, cultivos de banano, enfermedad foliar, cultivos Cavendish, métodos de control y manejo en banano, aspectos epidemiológicos y patología del banano, y sus traducciones al inglés. Además, la mayor parte de la información se encontró en artículos publicados en español por autores latinoamericanos. Sin embargo, se consideró también información de artículos en inglés, teniendo un total de 68 documentos consultados.

Criterios de Inclusión y Exclusión

La búsqueda se realizó teniendo en cuenta información de los últimos 20 años. En temas relacionados al origen del banano, sus impactos, además, medidas de control y adaptación a la enfermedad. Por el contrario, no se vinculó la investigación a la siembra, manejo y cosecha en general del banano.

Resultados y Discusión

Aspectos Generales del Banano

La *Musa paradisiaca* es considerada una planta herbácea, registrada en su primera instancia por Linneo en 1753. Igualmente se encuentra dentro de la familia de las Musáceas. La taxonomía por parte del género *Musa* es compleja e incluye diversos híbridos como *Musa x paradisiaca* (Cuadro 1) (Nayarit 2009).

Cuadro 1

Taxonomía del banano (Musa x paradisiaca)

Clasificación	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	<i>Musa</i>
Especie	<i>M. paradisiaca</i>

Nota. Adaptado de Arteaga Alcivar (2015)

Varias fuentes indican que el origen del banano proviene de la región Indomalaya, misma que se extiende hasta el sur y abarca el territorio de Polinesia y Hawaii. Otras fuentes también reconocen su procedencia asiática, pero se concentra específicamente en la zona sudeste del continente. Según información registrada en textos que datan aproximadamente del año 500 A.C, algunos productores consideraron al banano como la primera fruta en el planeta (FAO 2016). En Asia, el banano se cultiva desde hace cuatro mil años atrás, posteriormente, se trasladó a Europa mediante la migración de los romanos entre los siglos I y III A.C, sin embargo, su existencia fue desconocida durante muchos siglos, hasta su popularización en el siglo XX, misma donde se consolidó como una de las primeras frutas comercializadas en el mundo (Clare 2005; Arteaga Alcivar 2015).

El banano llega a la región de Sudamérica en el siglo XVI por medio de los colonizadores portugueses. A partir de este instante, el banano se convierte en un fruto potencial para el ámbito comercial en los países tropicales de América, entre ellos: Costa Rica, Ecuador, Colombia, Brasil, México y Panamá. En consecuencia, cada país conserva una su propia historia, de cómo llegó el banano a su territorio (Marín et al. 2002).

La posibilidad de la llegada del banano a múltiples destinos ha sido gracias a los constantes avances tecnológicos que se han ido desarrollado, tales como transporte y conservación del fruto. En cuestión al transporte, se han mejorado diversos factores, entre ellos la rapidez y la refrigeración, manteniendo así la conservación del fruto como la técnica de maduración. En principio, estas condiciones no eran empleadas con sofisticación por los primeros actores de la cadena de valor; no obstante, su riesgo los convirtió en pioneros en la producción, transporte y comercialización del banano (Loeillet 2012).

Morfología del Banano

El banano está dentro del grupo de las monocotiledóneas. Por consiguiente, en la secuencia Eumusa se encuentran variedades triploides que surgen del cruce entre *Musa acuminata* (AA) y *Musa balbisiana* (BB), mismas que llevan a la creación de los musáceos comestibles más representativas: AAA Bananos dando el Cavendish y Gros Michel AAB Plátanos como Curraré y Dominico ABB Guineos obteniendo Cuadrado y Pelipita (Araya 2008). Al proceder de una planta herbácea 'perenne' los brotes que provienen del tallo subterráneo tienen un crecimiento enérgico y siguen brotando año tras año de una única mata. En este sentido, la mata del banano cuenta con sus principales partes, las cuales son:

Raíces

Estas son superficiales, además es un soporte para la planta que sirve como vía para la absorción de agua y de nutrientes esenciales. Asimismo, almacena los productos para su correcta

alimentación y forma un entorno adecuado para los diversos macro y microorganismos ubicados en la rizosfera. Lo cual lo hace uno de los órganos más significativos de la planta (Torres 2012).

Bulbo o Cormo

Cuenta con la capacidad de rebrote cada año, solo sobresale en la época de floración.

Tallo

El tallo es considerado un rizoma grande, almidonoso y subterráneo que corona con yemas que en el transcurso del tiempo se desarrollan posteriormente a la floración de la planta. Al mismo tiempo, cada chupón de los rizomas alcanza su punto de madurez, por consiguiente, su yema terminal se convierte en una inflorescencia al ser desplazada hacia arriba desde el suelo por el alargamiento de este, hasta que sobresale y emerge por encima del pseudotallo (Rojas Sanabria et al. 2007).

Hojas

Son grandes y llamativas, midiendo de 2 hasta 4 metros de largo, y de ancho pueden llegar hasta ½ metro, con un pecíolo de más de 1 metro de longitud. De igual forma, las hojas se encuentran conformadas por una estructura tubular denominada vaina, un pecíolo grueso y un limbo o lámina. Adicionalmente, las vainas se posicionan concéntricamente dando forma a los falsos tallos, los cuales pueden llegar a tener hasta 40 vainas (Moreno Mena et al. 2009).

Flores

Durante su floración sobresale un escapo pubescente, mide de 5 a 6 cm de diámetro, en el cual cuelga un racimo de hasta 2 m de largo. De la misma forma éste carga consigo las brácteas las cuales tienen una forma oval alargada, de color rojo púrpura, y de las axilas de estas brácteas salen las flores. Por consiguiente, dan lugar a las 'manos', las cuales son compuestas por los 'dedos' quienes cargan los frutos. Así mismo son amarillas, irregulares y con seis estambres, los mismos donde uno es

estéril reducido a estaminodio petaloideo. Sin embargo, en variedades realmente fructíferas, se puede encontrar hasta doce o catorce (Barrera et al. 2009).

Racimo

Es el que carga con todos los frutos. Conformado por las 'manos' y sus respectivos 'dedos' que contienen de 3 a 20 unidades a lo largo del eje en forma de hélice de la misma manera que vimos con el sistema foliar.

Frutos

Los frutos empiezan siendo de color verde, hasta su maduración en donde dependiendo de la variedad, regularmente se tornan amarillos. Los frutos, se ubican en dos filas pareadas, son hermafroditas; asimismo, hay que tener en cuenta que, de toda la fluorescencia, los frutos son de dominancia hembra. Hay que tener en cuenta que un fruto de color negro denota pudrimiento o sobre maduración de este, por lo cual se recomienda cosechar antes de que este madure.

La sigatoka negra en el Banano

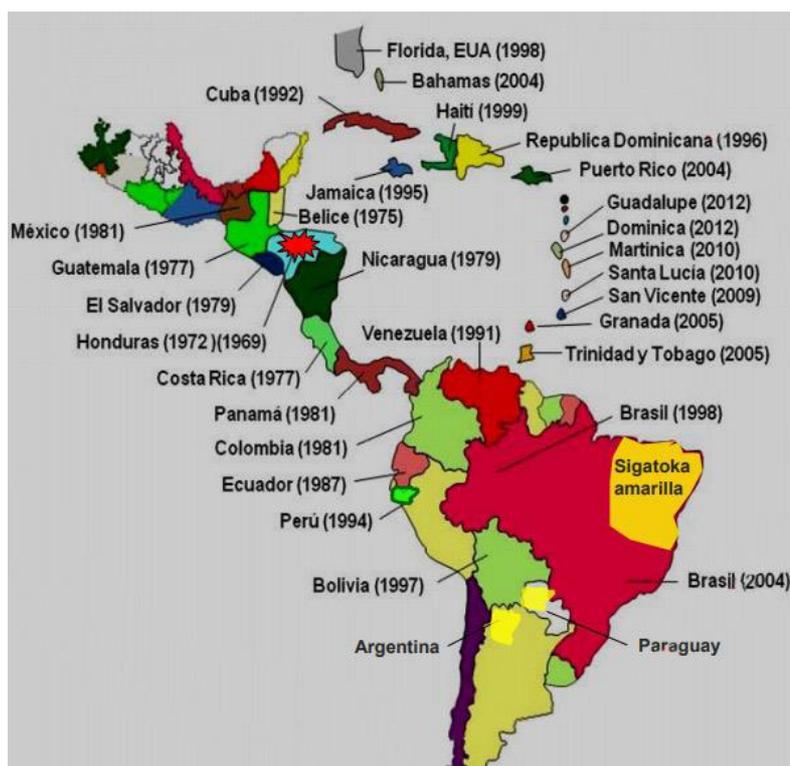
Origen e Historia de la Sigatoka negra

La Sigatoka Negra se presenta como la principal limitante en la producción mundial de banano, siendo esta causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* (Cuadro 2) (Álvarez et al. 2013). La primera detección de esta enfermedad data en el sudoeste asiático en 1912, específicamente, en la isla de Fiji. Así mismo, se detectó por primera vez en el continente americano en el año 1972. Seguidamente, se encontró en Honduras la colección de germoplasma de la United Fruit Company, junto con la sigatoka amarilla. Posteriormente, se diseminó hacia los países circundantes de América Latina y el Caribe aproximadamente en el año 1975 hasta llegar a Ecuador en el año 1987 y en Brasil en el año 1998. Por último, 1998 se detectó en los invernaderos de Florida-Estados Unidos. Hasta el año 2004 no se había encontrado la presencia de esta enfermedad en las islas caribeñas;

consecutivamente, la sigatoka negra se encuentra presente en todos los países donde haya producción bananera (Figura1) (Ayala et al. 2014).

Figura 1

Distribución de Sigatoka Negra en América Latina y el Caribe



Nota. Tomada de Orozco-Santos y Moraes (2015)

Cuadro 2

Taxonomía de la Sigatoka negra (M. fijiensis)

Clasificación	
Reino	Fungi
Filo	Ascomycota
Orden	Dothidemycetes
Familia	Mycosphaerellaceae
Género	Mycosphaerella
Especie	M. fijiensis Morelet

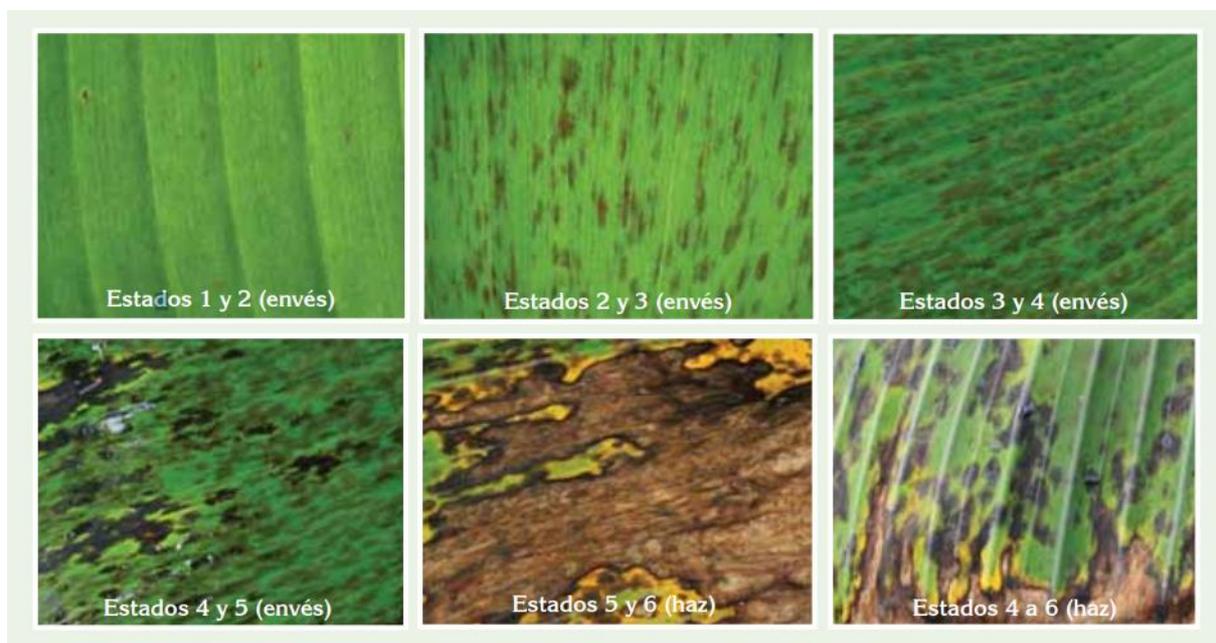
Nota. Adaptado de Lincango Bravo (2020)

Sintomatología

El primer síntoma que puede ser observado es un rayón marrón de aproximadamente 2 mm en la parte abaxial de la hoja. No obstante, se encuentran los rayados, mismos que con el avance del tiempo y de la enfermedad se tornan más oscuros y se unen. Ya en etapas posteriores, toda la hoja se encuentra como tejido necrosado y en algunos casos existe presencia de tejido clorótico con manchas café oscuro y centros negros (Figura 2) (Marengo Santiago 2010). En consecuencia, se reduce la acción fotosintética de la planta por la pérdida de hojas, obteniendo frutos pequeños y débiles deficientes de nutrientes. Seguidamente, existen seis estados posteriores cuya clasificación depende de los síntomas foliares de la sigatoka negra (Figura 3).

Figura 2

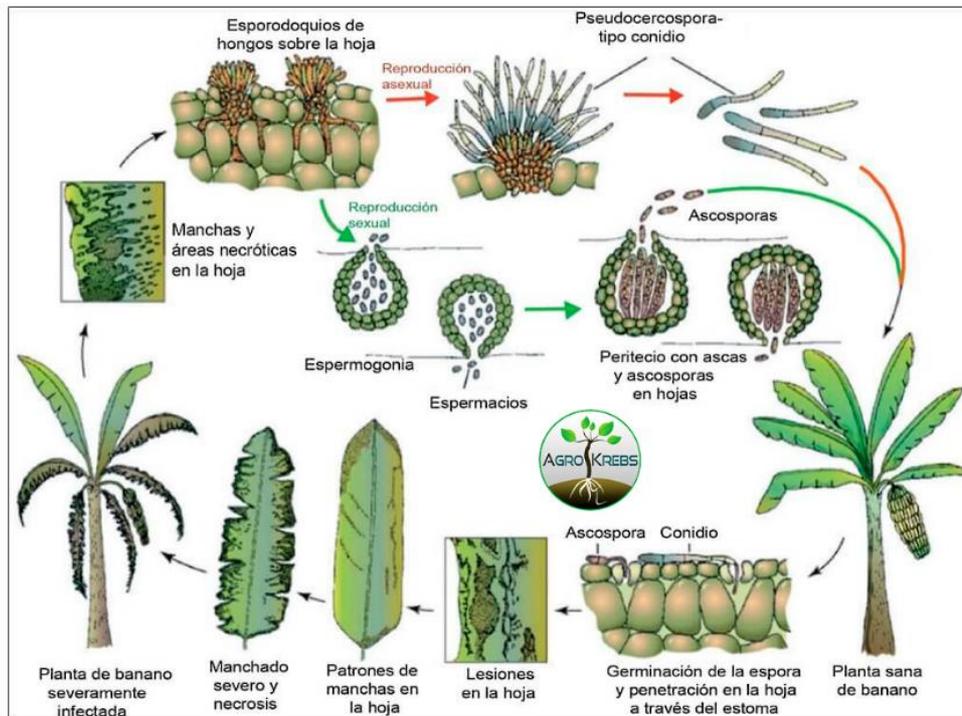
Estados del avance de la sintomatología ocasionada por la Sigatoka negra.



Nota. Estado 1) Pequeña despigmentación ubicada en el envés de la hoja. Se puede encontrar pizcas de color café rojizo dentro del área. No es visible a través de la luz; Estado 2) Estrías de café rojizo en el haz y envés de la hoja; Estado 3) Cambio de color en la estría a un color más oscuro y aumento en grosor y longitud; Estado 4) Las lesiones cambian a negro. Ya se considera como Mancha; Estado 5) Presencia de manchas redondeadas de un halo amarillo, es decir clorótico; Estado 6) Centros grisáceos y necrosados en las manchas. Coloración grisácea abundante de pseudotecios. Tomado de Pantoja et al. (2013)

Figura 3

Ciclo de vida de *Sigatoka negra* en Banano (*Musa spp.*).



Nota. En el ciclo de vida de la enfermedad provocada por el *M. fijiensis*, se pueden identificar cuatro etapas: germinación de las esporas, penetración del huésped, desarrollo de los síntomas y producción de las esporas. Así se destaca por ser una enfermedad agresiva con un ciclo biológico de 21 días. Tomado de INTAGRI (2018)

Efecto de *Mycosphaerella fijiensis* en la Planta del Banano

La explicación sobre el efecto del hongo en la planta es muy sencilla. En este sentido, cuando las condiciones ambientales, tales como la temperatura y especialmente la humedad (lámina de agua) se encuentran en condiciones adecuadas, se propicia la germinación y la expansión de la espora. Seguidamente, luego de cierto tiempo, durante la expansión del hongo, este empieza a afectar, por medio de los estomas e intercelularmente, a la planta de banano (Cuéllar Quintero et al. 2011).

Consecuentemente, luego de varias semanas, y con lo anteriormente mencionado, cuando la sintomatología avanza en la planta, esta empieza a tener cada vez menos tejido vivo. En efecto, este crecimiento de tejido muerto afecta principalmente a la acción fotosintética, que, a su vez, esta desencadena una serie de impactos (Canto Caché 2012).

Con respecto a la acción fotosintética, a mayor relación del avance del estado de la enfermedad de la planta, menor porcentaje fotosintético tendrá la planta de banano. Consecuentemente, a menor porcentaje fotosintético, se verá afectado el crecimiento y madurez fisiológica de la planta, ya que, al haber tejido muerto y menor fotosíntesis, también habrá un menor flujo nutritivo necesario para el correcto crecimiento de las demás parte de la planta, tales como los frutos. Por último, este proceso afecta directamente los rendimientos, las dinámicas de venta en las fincas, entre otras (Canto Caché 2012).

Epidemiología

La reproducción sexual y asexual de la Sigatoka negra tiene un desarrollo en conjunto con la persistencia, adquisición y dispersión de la enfermedad. En primer lugar, la etapa de supervivencia del patógeno; en caso de no existir materia vegetal susceptible, entra en estado de latencia sobre las hojas viejas infectadas. En consecuencia, si estas se encuentran en el suelo o adheridas a la planta y sí se inicia una estación lluviosa o de alta humedad relativa, se iniciará a la fase de reproducción sexual. La reproducción sexual está dada por la liberación de ascosporas, misma a la que se le asigna el nombre *Mycosphaerella fijiensis*, la cual se caracteriza por ser llamada a la forma sexual o teleomorfa (Borja 2019). Estas pueden ser transportadas a largas distancias por vientos, generando la propagación de la enfermedad a nuevas plantas y consecutivamente, se expandiría a diferentes fincas e incluso regiones (Rivas Galileo y Rosales 2003).

Las hojas infectadas que todavía se encuentran adheridas a la planta, pueden generar estructuras infectivas del hongo permanentes, a diferencia de las hojas que son cortadas y colocadas en el suelo donde el período de contagio y supervivencia del microorganismo es menor (Ramírez 2020). La dispersión de esta enfermedad ocurre gracias a las ascosporas. Las conidias son liberadas por acción del viento y dispersadas generalmente a través del lavado y salpicadura de las gotas de lluvia. Las ascosporas, por otro lado, son arrastradas por el viento, las cuales son las causantes de la dispersión a grandes distancias, así mismo, hay que considerar que las ascosporas tienen un

transporte limitado gracias a su susceptibilidad a la radiación ultravioleta presente en la radiación solar. Por último, el ser humano también se debe considerar como agente principal de diseminación de la sigatoka negra, gracias al transporte de materia vegetativa infectada se ha logrado diseminar esta enfermedad entre continentes gracias a las prácticas culturales y comercialización de los productos de esta planta (Céspedes 2008).

Durante la reproducción asexual, este hongo toma una forma anamorfa, también llamada *Pseudocercospora fijiensis*. Las conidias, llamadas *Paracercospora fijiensis*, que se originaron de manera individual y apicalmente en el conidióforo. Estas esporas tienen una coloración olivocarmelitos y generalmente son lisas y alargadas (Borja 2019). La Sigatoka negra genera esporodocios, mismos que contienen esporas de conidios, los cuales se encuentran en ambas caras de la hoja, pero con mayor abundancia en la superior. Consecuentemente, estos conidios pueden ser diseminados por el viento y salpicaduras de la lluvia. Por último, el crecimiento de estos se esperará que esté ligado a la cantidad de agua libre sobre los tejidos y a la alta humedad relativa disponible en las masas de aire (Rivas Galileo y Rosales 2003).

Las conidias se generan bajo alta humedad, se forman Durante los estadios 2, 3 y 4 de desarrollo esta enfermedad, además, una lesión de 20 mm² puede llegar a producir entre 1200 y 30000 conidias. En cambio, las ascosporas son producidas por los pseudotecios, que se encuentran en las lesiones maduras, dentro de los estadios 5 y 6, que son comunes en las hojas más antiguas o en hojas que están en la superficie del suelo. Con respecto a las condiciones ambientales, las conidias presentan un rango de germinación entre unidades del 92 al 100%. Las ascosporas presentan un rango de germinación máximo entre humedades entre 98 y el 100%. La temperatura óptima para la germinación de varía entre 22 y 28°C. Con un pico más alto alrededor de los 27°C. (Céspedes 2008).

Tanto las ascosporas como los conidios infectan al individuo vía estomática. Una vez alojada empieza a producir toxinas que matan los tejidos de las hojas. Los tejidos aledaños se necrosan, lo cual posteriormente se generarán manchas y estrías. En sí, la diseminación por ambas maneras de

reproducción del patógeno puede ser afectada de manera positiva para este en condiciones ambientales establecidas. En ejemplificación, la alta humedad ambiental temperatura entre 23° a 28°C y también se puede generar una diseminación por los trabajadores que efectúen malas prácticas agrícolas (Flores 2015).

Métodos de Control y Manejo

Control Físico

El control físico se basa en generar condiciones letales para la plaga, utilizando un agente físico. Generalmente, en las prácticas de control físico se puede encontrar la utilización de mulch plástico, misma que tiene como objetivo el no permitir la entrada de luz en la parte inferior de la planta, y así, evitar el crecimiento de malezas. Por otra parte, se utilizan otras prácticas, tales como la eliminación mecánica de malezas, la utilización de mallas para evitar el acceso de pájaros e insectos, mantas térmicas entre otras. Sin embargo, muchas veces estas son, en el caso de la Sigatoka negra, medidas ineficaces, debido a que, al tratarse de un hongo, las ascosporas pueden ingresar por las finas mallas. Es decir, la reproducción de este mediante la dispersión de esporas hace que las medidas que sean contribuyentes al manejo de suelos o malezas sean poco eficaces (Cruz Torrico y Sabando Avila 2016). Por lo tanto, el control físico no tiene un alto efecto en la reducción de la tasa de aparición de la Sigatoka negra. Por ende, se recomienda la utilización de control químico, microbiológico, y control por prácticas culturales (Otálvaro et al. 2002).

Control Químico

El control químico, es el método que se utiliza intensivamente de preferencia en los agricultores para el control de sigatoka negra, en realidad, esto se debe a que grandes empresas prefieren invertir en la formulación de productos sintéticos para un rápido control de plagas en sus cultivos. Además, el químico generalmente es aplicado por aspersiones aéreas, asimismo, se utilizan

en la mayoría de los casos fungicidas, aceites minerales y emulsificantes (Pérez 2006). Seguidamente, estos fungicidas se pueden clasificar en tres categorías dependiendo su modo de acción:

Fungicidas de Contacto. Sólo protegen las partes de la hoja fumigadas por aspersion, además, esta no tiene incidencia en la infección ya establecida e incluso impide la germinación de esporas. Entre los grupos químicos se encuentran los ditiocarbamatos y el clorotalonil (Orozco-Santos et al. 2008).

Fungicida Penetrante. La sustancia activa penetra en el tejido vegetal y se produce una acción sistémica. Por ejemplo, la morfolina y triazoles

Fungicidas Sistémicos. Se utiliza como acción preventiva y curativa, donde la planta se moviliza internamente a través de distintas partes de esta. Sin embargo, con este tipo de control, se puede llegar a generar resistencia, debido a que el ingrediente activo actúa sobre los sitios específicos de las células del hongo (Ayala et al. 2014). Entre los grupos de los sistemas se puede encontrar los benzimidazoles y triazoles. Específicamente, en el caso de la Sigatoka negra, los principales fungicidas sistémicos han sido los benzimidazoles, triazoles, estrobilurinas y morfolininas (Ayala et al. 2014).

Sin embargo, también el uso de control químico tradicional posee desventajas, las cuales están siendo fuertemente criticadas por distintas organizaciones debido a los diversos problemas que pueden llegar a generar. Entre las desventajas que podemos encontrar en el control químico tradicional se encuentran: daños ecosistémicos, incidencia de enfermedades en las poblaciones más cercanas, generación de resistencia a los fungicidas químicos, residualidad eco toxicológica, costos elevados en insumos químicos, reducción de la sostenibilidad, entre otros. Ante esta problemática, se está trabajando en el desarrollo de estrategias que tienen como objetivo reducir la dependencia del control químico convencional (Jiménez et al. 2009; FAO 2015; Mena-Espino y Couoh-Uicab 2015). La resistencia del hongo a varios ingredientes activos que se utilizan comercialmente en las plantaciones bananeras ha generado mucha controversia entre la eficacia de dicho método de control (Siguenza

Cordero 2014). En este contexto, se ha planteado la utilización de alternativas con bio fungicidas y fungicidas orgánicos (Alcívar Campoverde 2014).

Los mercados norteamericanos y europeos están enfocados principalmente en la obtención de productos sostenibles; por ende, se encuentran en búsqueda de nuevas alternativas para evitar el uso de fungicidas sintéticos tradicionales que se encuentran cada vez más a menudo en nuevas metodologías de control químico (Arteaga Hidalgo 2017). Por ejemplo, un método estudiado fue el de ozono disuelto en agua y riego a una concentración de 4 mg/l. Al utilizarse ozono se pudo reducir la cantidad de incidencia del patógeno, además de no haber generado daños ecosistémicos, residualidad por enfermedad en los trabajadores a corto y largo plazo. En conclusión, se demostró que el ozono posee propiedades fungicidas para el caso de la Sigatoka negra (Llerena Hidalgo et al. 2015).

Por ende, es necesario que existan más estudios sobre compuestos que generen mecanismos de defensa a la Sigatoka negra. Por ejemplo, con la formulación de compuestos orgánicos, la utilización de distintos métodos de innovación y control, se puede lograr un manejo integral y no depender del control químico convencional (Pérez et al. 2002; Martínez Bolaños 2013; Ramón Mendoza 2017).

Control Biológico/Microbiológico

Los principios de control biológico de enfermedades consisten en el uso de microorganismos o productos de su metabolismo para reducir o eliminar la población de un patógeno o proteger las plantas del patógeno antes de que ocurra la infección (Cavero Sagratzki et al. 2015). Los controles biológicos han sido más exitosos en enfermedades de suelo, pero no tanto para foliares (Mena García 2014).

Realizar un control biológico con dicho patógeno es complicado debido a los factores de agresividad de este, la alta susceptibilidad de clones utilizados en las plantaciones, entre otros (Alfaro-Alvarado 2013). Ante esta problemática, se realizaron proyectos utilizando un fungicida biológico a base de *Bacillus subtilis*, sin embargo, no se obtuvieron los resultados esperados porque se tuvo que

utilizar en conjunto con una rotación de productos químicos (Mosquera et al. 2014). Hasta el año 2012, no existió un ejemplo del uso efectivo y eficiente de algún controlador biológico contra *Sigatoka* negra en condiciones de campo abierto a gran escala (Guzmán 2012).

Se realizó un estudio sobre una mezcla de fungicidas convencionales en un sustrato foliar elaborado a base de urea, harina de cebada y una solución mineral para el crecimiento selectivo de los microorganismos de interés. Como resultado se redujo en un 43% el número de ciclos fungicidas convencionales (Salazar Peláez et al. 2006; Patiño et al. 2007; Zuluaga Amaya et al. 2007). En otra investigación, se llevó a cabo una evaluación de la actividad antifúngica del quitosano contra el hongo que produce la *Sigatoka* negra, el cual dio como resultado que el quitosano tiene una actividad antifúngica en la fase sexual, lo cual conlleva una inhibición del 100% de la germinación de las ascosporas. Los resultados indicaron del quitosano tiene función fungicida-fertilizante y se necesita más estudios de esta temática (Ayala et al. 2014). De este modo, se recomienda utilizar un concepto de manejo integrado (Bettiol et al. 2014).

Control Cultural

Las prácticas culturales son un conjunto de técnicas y métodos de opciones en manejo que pueden ser manipuladas por agricultores para lograr una buena producción. En este caso, la investigación se referirá a métodos que se pueden efectuar en plantaciones de banano para lograr reducir o evitar la *sigatoka* en este cultivo. A continuación, se presentan algunas prácticas culturales y su funcionalidad para el control de la enfermedad:

Eliminación Total o Parcial de las Hojas Afectadas. Esta práctica se encarga de reducir o eliminar la principal fuente del inóculo (Orozco-Santos et al. 2008). También se le conoce como deshoje, poda, despunte o cirugía. Considerando que las hojas representan una fuente de inóculo para la *Sigatoka* negra, al reducirlas, también se reduce la esporulación del patógeno a través del tiempo. En consecuencia, si estas no se eliminan de manera correcta pueden seguir liberando esporas hasta que su descomposición 10 semanas provoque la muerte del patógeno (Calvo y Bolaños 2001).

También se debe tomar en cuenta la cantidad más elevada de esporulación que se da en las dos primeras semanas posterior a la necrosis del tejido foliar (Orozco-Santos et al. 2008).

Otra práctica que se ha estado evaluando e implementando en los últimos años desde la poda temprana, es la eliminación semanal de la punta de una de las primeras cinco hojas de aproximadamente 20 centímetros. Esta misma tiene como objetivo evitar la presencia del tejido foliar infectado o necrosado con los propágulos del patógeno. Específicamente, esta práctica se debe aplicar sólo en época de lluvias y en zonas con una alta intensidad de la enfermedad (Chica et al. 2004).

Tratamiento a la Hojarasca. Se deben efectuar prácticas para la aceleración del proceso de degradación o disminuir la esporulación del hongo. De este modo, se realizaron distintos métodos y productos con efecto antiesporulante, tales como la urea, el difosfato, la cera, el protectante clorotalonil y sus respectivas mezclas. Por ejemplo, en un estudio se realizó la aplicación semanal de urea al 10% como alternativa para minimizar las posibilidades de multiplicación del patógeno (Orozco-Santos et al. 2008).

Minicompostaje. Habitualmente las hojas cortadas por las prácticas de poda se esparcen alrededor del suelo de la plantación y eso puede generar diversos problemas, tales como en el caso de las hojas necrosadas con Sigatoka negra, que al humedecerse por el agua de riego y lluvia estimula la esporulación de dicho patógeno. En respuesta, se encuentra la alternativa del minicompostaje, es decir, acumular los desechos de las plantas del banano, hojas cortadas y partes de la planta apiladas en montones que propician a una rápida degradación; además, sirven como aporte de nutrientes y materia orgánica y a la reducción de la presencia de Sigatoka negra en la materia orgánica. En adición, estas pilas deben hacerse mínimo a una distancia de 6 metros entre las calles de la plantación (Orozco-Santos et al. 2008).

Manejo del Agua y Métodos de Riego. Los drenajes deben permitir la eliminación rápida de los excesos de agua, ya que, el efecto de la Sigatoka negra es mayor en cultivares con drenaje limitado por el ritmo del crecimiento y condiciones de estrés de la planta. Por otra parte, el riego por aspersión

tiene una mayor influencia en la expansión y desarrollo de la Sigatoka negra, ya que, humedece el follaje, favorece la descarga de ascosporas y ayuda a la disminución del patógeno. Asimismo, el método de riego por goteo e inundación puede presentar una menor severidad de Sigatoka negra en los cultivares. En conclusión, el que ofrece mayores ventajas el método de riego por goteo, debido porque al utilizar menos volumen hídrico se reduce notablemente la infección de la enfermedad y el desarrollo de malezas en el área humedecida (Orozco-Santos et al. 2008).

Densidad de Siembra. Se establece que hay una relación directamente proporcional entre la densidad de siembra y la severidad de la Sigatoka negra. Es decir, una alta densidad de siembra puede generar una mayor cantidad de producción por unidad de superficie, al mismo tiempo, puede afectar directamente a la reproducción de la Sigatoka negra (Rivas y Rosales 2003). En este contexto, se han llevado cultivares de entre 1,850 a 4,000 plantas/ha, obteniendo desarrollos de la enfermedad con comportamiento diferentes. Por último, para lograr una plantación óptima, se recomienda tener en cuenta los factores de temperatura, aireación, formación de Rocío, humedad relativa y radiación solar (Orozco-Santos et al. 2008).

Resistencia Varietal. La variedad se puede distinguir gracias a su diversidad de tamaños, colores, sabores y formas de ser consumidos. Existen más de 1000 variedades de bananos en el mundo, ahora bien, no todas tienen las mismas resistencias ante enfermedades y plagas. Existen muy pocas que son resistentes o controlables a la Sigatoka negra.

Diversas investigaciones han trabajado en pro a desarrollar o descubrir genes resistentes ante la Sigatoka negra. De esta manera, se realizó una evaluación de resistencia de diferentes genotipos en Colombia, donde se evaluaron 125 aislamientos monospóricos, en los cuales se tomaron en cuenta variables como periodo de incubación, tiempo de evolución de los síntomas, área bajo la curva del desarrollo de la enfermedad, y tasa de desarrollo de la enfermedad. En efecto, se determinaron los genotipos Topocho, Maqueño y Sedita, e híbridos como FHIA 20, FHIA 21 Y FHIA 23, como los más resistentes ante las cepas de *M. fijiensis*; en efecto, las mismas fueron estudiadas con programas de

mejoramiento genético o materiales promisorios para control de la enfermedad (Cuéllar Quintero et al. 2011). Además, en la literatura se encontró que entre las variedades más resistentes y conocidas a nivel latinoamericano se encuentra la Calcuta 4, Yangambi km5, Gros Michel, y Cavendish siendo esta última no solo una de las más resistentes, sino también la más usada para producción y comercialización a nivel mundial (Pérez Vicente et al. 2009).

Impacto de la Sigatoka negra en la Cadena de Valor de la Industria Bananera

En la actualidad, la Sigatoka negra es uno de los desafíos más relevantes para lograr una buena producción de banano en regiones con clima tropical húmedo en Latinoamérica. En tan solo cuatro décadas, esta enfermedad se ha extendido a todas las áreas bananeras y plataneras de América Latina y el Caribe. Esto se debe a la propia naturaleza compleja del patógeno y a las adecuadas características del hospedero (Valerio et al. 2002). La misma se ha intentado contrarrestar mediante controles químicos, sin embargo, alrededor de esto se ha comprobado que la aplicación de fungicidas no ha dado una solución e impacto significativo a los productores (Guzmán et al. 2013). Ante esta problemática, se ha visto afectada la industria del banano, llevando consigo múltiples efectos en la cadena de valor.

Entre los impactos negativos causados por la Sigatoka negra, se encuentra la exportación de banano, que deriva al volumen de oferta, demanda o variaciones en los precios, afectando a los empleos directos e indirectos del banano. Es decir, esta situación repercute en los ingresos de los productores y subsiguientemente de todos los actores dentro de la cadena de valor (Ledesma 2012). Un ejemplo claro es la situación de Ecuador, que es uno de los mayores exportadores de banano del mundo al igual que Costa Rica, donde la industria bananera genera miles de trabajos directos e indirectos durante el ciclo del año en las zonas tropicales. En este panorama, la industria del banano y el plátano es de gran importancia debido a la generación de divisas y a la seguridad alimentaria de la población en general (Ploetz 2009).

Por otro lado, el impacto producido en el fruto se ve reflejado en la calidad de este, que posteriormente que se lleva al mercado, generando otro problema a futuro que es el no poder llegar a producir banano en un sistema sostenible. Como resultado, los países que consumen el banano están obligados a no permitir el ingreso de la fruta por políticas ya establecidas, lo cual coloca en riesgo a toda la industria (Regalado et al. 2019).

Impacto Agroambiental

Aparte de considerar los efectos que la *Sigatoka negra* tiene en el banano, es esencial poder analizar como el conjunto de estos ha logrado convertirse en un contaminante acumulativo no solo a nivel de finca, sino también a un contexto agroambiental regional e incluso Latinoamericano. De este modo, la intención de la investigación es analizar como los factores ambientales han intensificado estos impactos, y a la vez, como estos han venido afectando a toda una secuencia que llega hasta las pérdidas socioeconómicas.

Por una parte, el panorama del Cambio Climático es un factor crítico que influye en la expansión de este hongo a nivel finca y de regiones. Por ejemplo, el aumento de la concentración (ppm) de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera conlleva al aumento de la temperatura mundial (Olivo y Soto-Olivo 2010). Este elemento climático permite que haya una expansión en las masas de aire, que al mismo tiempo permite un mayor espacio de almacenamiento de humedad en una región específica (Smith y Romero 2016). Bajo este escenario planteado, el aumento en esa humedad específica propicia las condiciones adecuadas para la proliferación de este hongo (Hernández Mansilla et al. 2016). Por otro lado, otros factores, tales como las alteraciones en los ciclos de precipitaciones, que aumenta la escorrentía y captación por intercepción, también funcionan como un medio de transporte, migración y proliferación de la *Mycosphaerella fijiensis* (Rivas Galileo y Rosales 2003).

Por consiguiente, la expansión de este hongo, asociada a condiciones climáticas cambiantes, afecta directamente a los paisajes productivos. Según Freitez et al. (2009) esta misma expansión se

está manejando mayormente con el uso de fungicidas de alta persistencia, provocando daños por contaminantes de tipo toxicológico que puede perjudicar a la agrobiodiversidad y a las comunidades adyacentes (Zuluaga Amaya et al. 2007). Por ejemplo, en México se realizó un estudio, donde se monitoreó que aproximadamente se realizaban de entre 10 a 45 aplicaciones de fungicidas sintéticos en plantaciones bananeras. El problema evoca en donde además de que este hongo crea resistencia a los mismos, los residuos de estos fungicidas afectan a los sistemas respiratorios, digestivos, cardiovasculares y neurológicos de las poblaciones cercanas a las fincas bananeras (Mena-Espino y Couoh-Uicab 2015)

Impacto Socioeconómico de la Sigatoka negra en las Fincas y Productores Bananeros

Ante la persistente premisa de que la Sigatoka negra es uno de los más importantes afectantes económicos de la producción de banano, resulta primordial sintetizar, en un contexto sociohistórico, los impactos económicos que esta enfermedad ha causado a los productores (Patiño et al. 2007). En este sentido, cuantificar estos efectos deriva en diferentes mecanismos de impactos, tales como: los costos asociados a la prevención y control de la enfermedad, el impacto por pérdidas en rendimientos y castigo a los productores, mismo que se da por parte de los demás actores de la cadena de valor, a causa de la pérdida en la calidad del producto.

En primer lugar, los costos asociados a la prevención y control se derivan de ciertos gastos por la compra de fungicidas e implementación de otras de prácticas de manejo, tales como, el control biológico, físico y cultural. Por ejemplo, en una investigación se cuantificó que el realizar un manejo integrado de prácticas culturales y modelos bioclimáticos, con el objetivo de combatir la Sigatoka negra en el banano, tuvo un costo de aproximadamente un 15% de los gastos vinculados a la producción (Pérez et al. 2003). En segundo lugar, si no se controla correctamente la enfermedad, esta puede llegar a causar hasta un 50% de pérdidas en los rendimientos; en consecuencia, se muestra afectada la misma proporción de pérdidas económicas con relación a las ventas (CropLife Latin America 2020).

Sin embargo, a nivel de micro y pequeños productores, muchas veces las ganancias de la producción no alcanzan ni siquiera para cubrir los gastos de protección química en sus fincas, mucho menos pueden cubrir otros métodos de control. Por ende, ante la vulnerabilidad socioeconómica, sus impactos tienden a ser mayores que a nivel de agricultura corporativa (Pérez et al. 2002).

Conclusiones

La sigatoka negra afecta directamente a la cadena de valor de la industria, a las condiciones agro-socioeconómicas de los productores y a los agroecosistemas en general; es decir, los efectos de la enfermedad influyen en factores de producción, procesamiento, comercialización, consumo y calidad del banano. Además, los productores se muestran en alta vulnerabilidad tanto por la dificultad de costear los productos y prácticas de control, con un efecto en la reducción de la productividad y venta de productos dañados.

El excesivo uso de tratamientos químicos para controlarlo repercute en ecotoxicidad y amenazas en la salud de las poblaciones cercanas a las plantaciones bananeras. Dentro de esta revisión de literatura, se caracterizaron los métodos de control físico, químico, biológico y cultural expuestos en los últimos 20 años, ya sea por su grado de innovación, investigación o repercusión en la prevención, control o eliminación de la enfermedad de la Sigatoka negra. La investigación destacó como los controles más efectivos incluyen prácticas culturales y tratamientos químicos. Concluyendo que el manejo integrado es la alternativa más efectiva para combatir esta enfermedad.

Recomendaciones

Realizar investigaciones sobre la efectividad que puede lograr la aplicación de nuevos productos o metodologías, para así, obtener un control químico alternativo al tradicional.

Ejecutar una investigación monitoreando y recopilando datos con un enfoque en los efectos producidos de esta enfermedad, con el objetivo de sobrellevar y detectar de manera temprana alguna posible resistencia hacia un agente activo.

Efectuar un estudio con un plan de control para la Sigatoka negra, de esta manera, se sugiere hacer un análisis de las condiciones climáticas, presupuesto y recursos que posee el productor.

Ahondar sobre investigaciones que vinculen el efecto del estado y salud del suelo en la incidencia de la enfermedad de la Sigatoka Negra en el banano.

Referencias

- Alcívar Campoverde BS. 2014. Evaluación varios fungicidas y un entomopatógeno para el control de sigatoka negra Mycosphaerella fijiensis en banano orgánico [Tesis]. Ecuador: Universidad Técnica de Machala. spa; [consultado 06/10/21]. <https://bit.ly/3ANuhYG>.
- Alfaro-Alvarado F. 2013. Aislamiento y cuantificación de bacterias epífitas del filoplano de banano (*Musa* AAA cv. Grande Naine) y selección de cepas quitinolíticas y glucanolíticas como potenciales antagonistas de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra [Tesis]. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica. es; [consultado 06/01/21]. <https://bit.ly/2XzXjNb>.
- Álvarez E, Pantoja A, Ganán L, Ceballos G. 2013. La Sigatoka negra en plátano y banano: Guía para el reconocimiento y manejo de la enfermedad, aplicado a la agricultura familiar. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. 6 p; [consultado el 6 de abr. de 2021]. <https://bit.ly/3xWmgyT>.
- Araya JM. 2008. Agrocadena de Platano Caracterizacion de Agrocadena. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería. 82 p; [consultado el 6 de mar. de 2021]. <https://bit.ly/3z28MTG>.
- Arteaga Alcivar FJ. 2015. Origen y evolución del banano. Palmira: Universidad Nacional de Colombia; [actualizado el 6 de abr. de 2016; consultado el 12 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3xV55NW>.
- Arteaga Hidalgo T. 2017. Estudio de concentración de pesticidad en aguas residuales de 10 fincas bananeras en las provincias de los Ríos y Guayas, y su incidencia en los cuerpos de agua dulce [Tesis]. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral; [consultado el 6 de dic. de 2021]. <https://bit.ly/3iQdMVE>.
- Ayala A, Colina M, Molina J, Vargas J, Rincón D, Medina J, Rosales L, Cárdenas H. 2014. Evaluación de la actividad antigúngica del quitosano contra el hongo *Mycosphaerella Fijiensis Morelet* que produce la Sigatoka negra que ataca el plátano. Revista Iberoamericana de Polímeros; [consultado el 6 de dic. de 2021]. 15(6):312–338. <https://bit.ly/3yULbnJ>.
- Barrera JL, Cayón G, Robles J. 2009. Influencia de la exposición de las hojas y el epicarpio de frutos sobre el desarrollo y la calidad del racimo de plátano Hartón (*Musa* AAB Simmonds). Agronomía Colombiana; [consultado el 6 de abr. de 2021]. 27(1):73–79. <https://bit.ly/3iWw1c9>.
- Bettioli W, Rivera MM, Colmenárez YE, Montealegre J, editores. 2014. Control Biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe. Uruguay: Fagro. ISBN: 978-9974-0-1091-8; [consultado 06/12/21]. <https://bit.ly/3g690BF>.
- Borja NK. 2019. El deshoje fitosanitario como alternativa para reducir la incidencia y severidad de la sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis Morelet* en banano [Tesis]. Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. spa; [consultado 07/24/21]. <https://bit.ly/2W6wvU8>.

- Calvo C, Bolaños E. 2001. Comparación de tres métodos de deshoja en banano (*Musa AAA*): su efecto sobre el combate de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y sobre la calidad de la fruta. Comparison of three damaged leaf parts removal methods on black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) control and fruit quality. Revista CORBANA; [consultado el 11 de jun. de 2021]. 27(54):1–12. <https://bit.ly/3iWrBlz>.
- Canto Caché BB, editor. 2012. Innovaciones para el manejo integrado en campo de la Sigatoka negra en México: Aportaciones de la investigación básica. 1ª ed. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán. ISBN: 978-607-7823-16-2; [consultado 07/29/21]. <https://bit.ly/3ma2XzK>.
- Cavero Sagratzki PA, Hanada RE, Gasparotto L, Coelho Neto RA, Souza JT de. 2015. Biological control of banana black Sigatoka disease with Trichoderma. Ciência Rural. 45(6):951–957. en. doi:10.1590/0103-8478cr20140436.
- Céspedes C. 2008. Distribución, epidemiología y manejo de la Sigatoka negra en la República Dominicana. Santo Domingo: IDIAF. 78 p. ISBN: 978-9945-448-03-0; [consultado el 7 de abr. de 2021]. <https://bit.ly/3gaBkCY>.
- Chica R, Herrera M, Jimenez I, Lizcano S, Montoya J, Patiño L, Rodríguez P, Ruiz L. 2004. Impacto y Manejo de la Sigatoka Negra en el cultivo de banano de exportación en Colombia. [sin lugar]. 10 p. Reunión Internacional Acobat XVI; [consultado el 11 de jun. de 2021]. http://www.musalit.org/viewPdf.php?file=IN050659_spa.pdf&id=9609.
- Chillet M, Abadie C, Hubert O, Chilin-Charles Y, Lapeyre Bellaire L de. 2009. Sigatoka disease reduces the greenlife of bananas. Crop Protection. 28(1):41–45. doi:10.1016/j.cropro.2008.08.008.
- Clare P. 2005. El desarrollo del banano y la palma aceitera en el Pacífico Costarricense desde la perspectiva de la ecología histórica. Diálogos Revista Electrónica; [consultado 06/15/21]. 6(1):308–346. doi:10.15517/dre.v6i1.6211.
- CropLife Latin America. 2020. Sigatoka Negra. Costa Rica: [sin editorial]; [consultado 06/09/21]. <https://bit.ly/37U5Tlx>.
- Cruz Torrico JF, Sabando Avila FA. 2016. Efecto de la altura de vuelo en aplicación aérea, en áreas influenciadas por obstáculos para el control de sigatoka negra en el cultivo de banano (*Musa spp.*) cantón Vinces [Tesis]. Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. spa; [consultado 06/11/21]. <https://bit.ly/3k2rWIV>.
- Cuéllar Quintero A, Álvarez Cabrera E, Castaña Zapata J. 2011. Evaluación de Resistencia de Genotipos de Plátano y Banano a la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). Revista Facultad Nacional de Agronomía; [consultado el 6 de oct. de 2021]. 64(1):5853–5865. <https://bit.ly/2UqRSyV>.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. Objetivos de Desarrollo Sostenible: Agricultura Sostenible. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado 2021; consultado el 6 de nov. de 2021]. es. <https://bit.ly/3snxifn>.

- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2016. Todo sobre los bananos: lo que debería saber acerca de esta fruta tropical. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 4 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3maLiYT>.
- Flores C. 2015. Banano - (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet). En: Rossini MN, Dummel DM, Agostini JP, editores. Plagas cuarentenarias de frutales de la República Argentina. 1ª ed. Argentina: Ediciones INTA. p. 229–235 ; [consultado el 12 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3snOUI5>.
- Freitez J, Ablan M, Gómez C. 2009. Propuesta de modelos predictivos del brote de la Sigatoka Negra para las plantaciones de plátano al sur del Lago de Maracaibo, Venezuela. Revista UDO Agrícola; [consultado 06/08/21]. 9(1):191–198. <https://bit.ly/3gaC0lw>.
- Guzmán M. 2012. Control biológico y cultural de la sigatoka-negra. Tropical Plant Pathology; [consultado el 6 de nov. de 2021]. 37. doi:10.13140/2.1.2927.7442.
- Guzmán M, Santos MO, Vicente LP. 2013. Las enfermedades Sigatoka de las hojas del banano: dispersión, impacto y evolución de las estrategias de manejo en América Latina y el Caribe. Brasil. 20 p. Reunión Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos) XX; [consultado el 6 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3z7PtYM>.
- Hernández Mansilla AA, Rogert SG, Valentín YP, López AM, Córdova GO, Benedico OR. 2016. Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y seguridad alimentaria. Escenarios bioclimáticos en bananos bajo efecto del cambio climático en Ciego de Ávila, Cuba. Journal of the Selva Andina Biosphere; [consultado el 6 de jun. de 2021]. 4(2):59–70. <https://bit.ly/3smBY5a>.
- [ICA] Instituto Colombiano Agropecuario. 2008. Cambio climático trae consigo problemas fitosanitarios. Colombia: [sin editorial]; [actualizado el 5 de jun. de 2021; consultado el 5 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3xTbzgn>.
- INTAGRI. 2018. Manejo de la Sigatoka Negra en el Banano. México. 5 p. Serie Frutales Informe no. 48.
- Jiménez C, Rivero AS, Pocasangre LE, Delgado E, Rosales FE, González Ó, Romero D. 2009. Efecto de la inoculación de dos tipos de semilla de bananos con dos aislados de *Trichoderma atroviride* en fase de vivero sobre el desarrollo de las plantas en campo bajo Sigatoka Negra. Revista Científica UDO Agrícola; [consultado 06/09/21]. 9(2):403–413. spa. <https://bit.ly/3gd0pNE>.
- Ledesma E. 2012. Productores y Exportadores en suspenso. EL Agro. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 3 de feb. de 2021]. <https://bit.ly/37RkKmU>.
- Lincango Bravo AR. 2020. Detección temprana de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de banano (*Musa x paradisiaca*) utilizando sensores multiespectrales [Tesis]. Quito: Universidad Central del Ecuador. spa; [consultado 06/13/21]. <https://bit.ly/3g9V6hZ>.

- Llerena Hidalgo Á, Castaño Oliva R, Joaquín Aguirre C. 2015. Relación de la concentración y frecuencia de aplicación de ozono con el nivel de daño de la Sigatoka Negra en banano. Diseño de un protocolo de riego con agua ozonificada. *Alternativas*; [consultado 05/11/21]. 16(2):66–75. spa. <https://bit.ly/3iPLSZP>.
- Loeillet D. 2012. Mercado bananero internacional de un mundo al otro. Guayaquil, Ecuador. 10 p; [consultado el 24 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3jZPqYN>.
- Marengo Santiago JI. 2010. Epidemiología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en una plantilla de guineo en Puerto Rico [Tesis]. Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico; [consultado 06/12/21]. <https://bit.ly/2VTXu5z>.
- Marín D, Sutton T, Barker K. 2002. Diseminación del banano en Latinoamérica y el Caribe y su relación con la presencia de *Radopholus similis*. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*; [consultado el 19 de jun. de 2021]. (66):62–75. <https://bit.ly/3mbJQFI>.
- Marín DH, Romero RA, Guzmán M, Sutton TB. 2007. Black Sigatoka: An Increasing Threat to Banana Cultivation. *Plant Dis*; [consultado el 2 de may. de 2021]. 87(3):208–222. eng. <https://bit.ly/37Q5hU9>. doi:10.1094/PDIS.2003.87.3.208.
- Martínez Bolaños L. 2013. Epidemiología y Manejo Integrado de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella Fijiensis*) en el Cultivo del Plátano y Banano. *Revista Mexicana de Fitopatología*; [consultado 06/12/21]. 31:40.
- Mena García JD. 2014. Herramientas biotecnológicas empleadas para controlar el hongo (*Mycosphaerella fijiensis*) causante de la enfermedad sigatoka negra en plátano y banano [Tesis]. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. spa; [consultado el 6 de nov. de 2021]. <https://bit.ly/3gbTDYf>.
- Mena-Espino X, Couoh-Uicab Y. 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*; [consultado 07/15/2021]. IX(2):91–98. es. <https://bit.ly/2VTXCC5>.
- Moreno Mena JM, Candanoza Córdoba JC, Olarte Godón F. 2009. Buenas prácticas agrícolas en el cultivo de plátano de exportación en la región de Urabá. Medellín, Colombia: AUGURA. ISBN: 978-958-99167-1-1. spa; [consultado el 2 de may. de 2021]. <https://bit.ly/2XuyeD7>.
- Mosquera S, González-Jaramillo LM, Orduz S, Villegas-Escobar V. 2014. Multiple response optimization of *Bacillus subtilis* EA-CB0015 culture and identification of antifungal metabolites. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*; [consultado 03/15/21]. 3(4):378–385. <https://bit.ly/3mbZWz6>. doi:10.1016/j.bcab.2014.09.004.
- Nayarit X. 2009. Procedimiento de Propagacion de Platano (*Musa Spp*). México: [sin editorial] ; [consultado 05/20/2021].

- Olivo M, Soto-Olivo A. 2010. Comportamiento de los gases de efecto invernadero y las temperaturas atmosféricas con sus escenarios de incremento potencial. Universidad, Ciencia y Tecnología; [consultado el 5 de jun. de 2021]. 14(57). <https://bit.ly/3gcMGq5>.
- Orozco-Santos M, Moraes WdS. 2015. Sigatoka Negra: Uma Análise Epidemiológica Comparativa entre o Trópico e o Subtrópico da América Latina e Caribe. Brasil: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; [consultado 07/29/21]. <https://bit.ly/3xUh5PX>.
- Orozco-Santos M, Orozco-Romero J, Pérez-Zamora O, Manzo-Sánchez G, Farías-Larios J, Da Moraes WS. 2008. Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*. 33(3):189–196. es. doi:10.1590/S1982-56762008000300003.
- Otálvaro F, Echeverri F, Quiñones W, Torres F, Schneider B. 2002. Correlation between Phenylphenalenone Phytoalexins and Phytopathological Properties in Musa and the Role of a Dihydrophenylphenalene Triol. *Molecules*. 7(3):331–340. doi:10.3390/70300331.
- Pantoja A, Álvarez E, Ganán L, Ceballos G. 2013. Estado del arte y opciones de manejo del Moko y la Sigatoka Negra en América Latina y el Caribe. Cali, Colombia: CIAT; FAO (Publicación CIAT). ISBN: 978-958-694-123-5; [consultado el 12 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/37QpwBd>.
- Patiño LF, Bustamante E, Salazar LM. 2007. Efecto de Sustratos Foliare Sobre la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Banano (*Musa × paradisiaca*.) y Plátano (*Musa acuminata* Colla). *Agricultura Técnica*. 67(4):437–445. doi:10.4067/S0365-28072007000400012.
- Pérez, Hernández L, Hernández A, Pérez M. 2002. Effect of trifloxystrobin and azoxystrobin on the control of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on banana and plantain. *Crop Protection*. 21(1):17–23. doi:10.1016/S0261-2194(01)00055-2.
- Pérez L, Álvarez J, Michel P. 2003. Sigatoka negra causada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en Cuba: impacto económico, resistencia de los clones y manejo de la enfermedad. *Fitosanidad*; [consultado el 6 de ago. de 2021]. 7(1):21–41. <https://bit.ly/37Qn1ih>.
- Pérez LV. 2006. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka Negra en bananos: Estado actual y perspectivas. *Fitosanidad*; [consultado 04/16/21]. 10(1):55–72. <https://bit.ly/3sxJLxa>.
- Pérez Vicente L, Batle Viera A, Chacón Benazet J, Montenegro Moracén V. 2009. Reacción de clones naturales e híbridos de la FHIA de bananos y plátanos a las poblaciones de Cuba de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, agente causal de la marchitez por *Fusarium* o mal de Panamá. *Fitosanidad*; [consultado 07/20/21]. 13(4):237–242. <https://bit.ly/3sxJPNq>.
- Ploetz R. 2009. Evaluación de las amenazas que representan los patógenos destructivos del banano. En: Pocasangre L, Quesada, Brown, editores. Reunion de Grupos de inters sobre los Riesgos de la Raza Tropical 4 de *Fusarium*, BBTV y otras Plagas de Musaceas para la Region del OIRSA, America Latina y el Caribe: Documentos de Programa y Resúmenes de la Reunion OIRSA Sede Central, San Salvador, El Salvador, 29 al 31 julio de 2009: Documentos de Programa y Resúmenes de la Reunión

- OOIRSA Sede Central, San Salvador, El Salvador 29 al 31 julio de 2009. El Salvador: [sin editorial]. p. 18 ; [consultado el 6 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/2VWTFwu>.
- Ramírez AJ. 2020. Aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano (musa aaa cavendish) en Carepa – Antioquia [Tesis]. España: Universidad de Córdoba. spa; [consultado el 4 de abr. de 2021]. <https://bit.ly/37PoC7Z>.
- Ramón Mendoza AF. 2017. Efecto biofungicida de aceites esenciales en el control de la sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis* en el cultivo de banano [Tesis]. Ecuador: Machala: Universidad Técnica de Machala. es; [consultado 06/11/21]. <https://bit.ly/3sqV3TH>.
- Regalado JG, Plaza AM, Sánchez CP. 2019. Amenazas de las manchas foliares de Sigatoka (Mycosphaerella spp.) en la producción sostenible de banano en el Ecuador. Revista Verde de Agroecología e Desarrollo Sustentável; [consultado el 5 de jun. de 2021]. 14(5):591–596. <https://bit.ly/37Tyy0a>. doi:10.18378/rvads.v14i4.6623.
- Rivas G, Rosales F, editores. 2003. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos [Taller Manejo convencional y alternativo de la sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos.]. Ecuador: [sin editorial] ; [consultado el 6 de nov. de 2021]. <https://bit.ly/3CS20XE>.
- Rivas Galileo, Rosales F. 2003. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos; [consultado el 6 de ago. de 2021]. <https://bit.ly/2Up5ria>.
- Rojas Sanabria P, Araya Vega J, Álvarez S, Fuentes G, Velásquez Villalta M, Fallas Monge M. 2007. Caracterización y plan de acción para el desarrollo de la agrocadena del cultivo de plátano en la región Huetar Atlántica. Costa Rica. 83 p; [consultado el 6 de mar. de 2021]. <https://bit.ly/2W5rGKo>.
- Salazar Peláez LM, Patiño Hoyos LF, Bustamante Rojas E. 2006. Sustratos foliares para el incremento de bacterias quitinolíticas y glucanolíticas en la filosfera del banano. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín; [consultado el 6 de nov. de 2021]. 59(2):3449–3465. es. <https://bit.ly/2VVq7PS>.
- Siguenza Cordero JF. 2014. Bioles reforzados nutricional y hormonalmente para el control de sigatoka negra. Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda; [consultado 04/15/21]. <https://bit.ly/3sCFxEB>.
- Smith E, Velásquez M, Zúñiga L, Valerín J. 2010. Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y producción de plantas en primera generación de banano dátil (Musa AA). Agronomía Costarricense; [consultado 05/05/21]. 34(1):77–83. <https://bit.ly/3iPOOAN>.

- Smith P, Romero H. 2016. Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*. (63):45–62. doi:10.4067/S0718-34022016000100004.
- Torres S. 2012. Guía práctica para el banano orgánico en el valle del Chira. 1ª ed. Perú: Hidalgo Impresores ; [consultado el 6 de abr. de 2021]. <https://bit.ly/3xULv4y>.
- Valerio R, Lindorf H, García E. 2002. Anatomía foliar comparada de ocho cultivares de banano con relación a la resistencia o susceptibilidad a la Sigatoka (amarilla y negra). *Agronomía Tropical*; [consultado 06/13/21]. 52(4). <https://bit.ly/3yYmEhv>.
- Vásquez Orozco R. 2017. El impacto del comercio del Banano en el desarrollo del Ecuador. *Revista AFESE*; [consultado 05/10//2021]. 53(53):167–182. es. <https://bit.ly/37R25YE>.
- [WRM] Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales. 2004. Plantaciones bananeras en América Latina | WRM en español. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 4 de jun. de 2021; consultado el 4 de jun. de 2021]. <https://bit.ly/3g9VGfF>.
- Zuluaga Amaya CM, Patiño Hoyos LF, Collazos Villa JC. 2007. Integración de inducción de resistencia con bacterias quitinolíticas en el control de la sigatoka negra (Mcosphaerella fijiensis morelet) en banano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*; [consultado el 6 de nov. de 2021]. 60(2):3891–3905. es. <https://bit.ly/3CS2WGC>.