

COMPORTAMIENTO DE LA SIGATOKA NEGRA (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), SEGÚN SISTEMA Y ZONA DE PRODUCCIÓN BANANERA, PROVINCIA VALVERDE, REPÚBLICA DOMINICANA

Behavior of the black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), according to banana production system and area, Valverde Province, Dominican Republic

Pedro Antonio Núñez Ramos¹, Carlos Manuel Céspedes², Víctor Camilo Pulido-Blanco³

RESUMEN

La sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) es la enfermedad más limitante de la industria bananera dominicana. Se evaluó el comportamiento de la sigatoka negra en los sistemas bananeros convencional (SC) y orgánico (SO) de cinco localidades (Cruce de Guayacanes, Guazumita, El Charco, Palo Amarillo y Los Cáceres, provincia Valverde). Se midieron Estado evolutivo (EE) de la enfermedad, hoja más joven enferma (HMJE), hoja más joven necrosada (HMJN), periodo de incubación, periodo de desarrollo; variables de producción: número de hojas a floración (NHF), a cosecha (NHC) circunferencia del seudotallo, altura de la planta madre, manos/racimo, ritmo de emisión foliar (REF); y variables de la zona: temperatura, precipitación, velocidad del viento y caudal de agua de riego aplicado. Se realizó análisis de componentes principales (ACP), correlaciones y prueba de Kruskal Wallis. Los componentes 1 y 2 del ACP explican el 79 % de la varianza en el SC y el 78 % del SO y la relación de las variables, cambian con la zona, siendo lo más común la incidencia de precipitación y agua de riego. La prueba de Kruskal Wallis indicó diferencias altamente significativas entre sistemas para el caudal de agua de riego ($p < 0.0001$), en EE, HMJE, NHC, NHF y REF ($p = 0.0399, 0.0042, 0.0001, <0.0001$ y 0.0001). No hubo diferencias entre sistemas para las otras variables. En Palo Amarillo se registró la mayor severidad de la enfermedad y en El Charco la enfermedad fue menos severa. Así, el comportamiento de la enfermedad no depende del sistema de producción sino de prácticas de manejo como el caudal del riego suministrado y la pluviometría de la zona.

Palabras clave: severidad, manejo del cultivo, prevalencia, incidencia.

ABSTRACT

Black sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) is the most limiting disease in the Dominican banana industry. The behavior of black sigatoka was evaluated in conventional (CS) and organic (OS) banana systems (CS and OS) in five locations (Cruce de Guayacanes, Guazumita, El Charco, Palo Amarillo and Los Cáceres, Valverde province). The following were measured: Evolutionary State (ES), youngest diseased leaf (JDL), youngest necrotic leaf (JNL), incubation period, development period; production variables: number of leaves at flowering (NLF), at harvest (NLH), pseudostem circumference, mother plant height, hands/bunch, leaf emission rate (LER); and area variables: temperature, precipitation, wind speed and irrigation water flow applied. Principal component analysis (PCA), correlations and Kruskal Wallis test were performed. Components 1 and 2 of the PCA explain 79 % of the variance in SC and 78 % in OS, and the relationship of the variables varies with the area, with the most common being the incidence of precipitation and irrigation water. The Kruskal Wallis test indicated highly significant differences between systems for irrigation water flow ($p < 0.0001$), in ES, JDL, NLH, JNL and LEF ($p = 0.0399, 0.0042, 0.0001, < 0.0001$ and 0.0001). There were no differences between systems for the other variables. The highest disease severity was recorded in Palo Amarillo and the disease was less severe in El Charco. Thus, the behavior of the disease does not depend on the production system but on management practices such as the irrigation flow supplied and the rainfall in the area.

Keywords: severity, crop management, prevalence, incidence.

¹ ✉ Docente e investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo. Investigador, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7580-7931>. pnunez25@uasd.edu

² Investigador asociado, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Investigador sector privado en musáceas, República Dominicana. ccespedes13@hotmail.com

³ Investigador máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1217-6877>. vpulido@agrosavia.co

INTRODUCCIÓN

La producción de banano está amenazada por la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), considerada la enfermedad más devastadora de las musáceas alrededor del mundo, a la cual se le atribuyen pérdidas del 30, 50 y hasta 80 % (Barrera et al., 2016, Bornacelly, 2009; Mengesha et al., 2023). La enfermedad afecta el área foliar fotosintética de la planta y en consecuencia, los racimos y los frutos tienen menor peso en comparación con las plantas sanas. Adicionalmente, infecciones severas de la sigatoka negra causan la madurez prematura del fruto (CIAT, 2013, García et al., 2017). Los daños producidos al cultivo del banano por el hongo constituyen la principal limitación para la producción comercial de este cultivo (Mengesha et al., 2023).

La sigatoka negra es considerada una enfermedad policíclica: presenta una secuencia continua de infección, colonización, esporulación y dispersión y, además, porque exhibe una infección ramificada que produce dos tipos de esporas diferentes que pueden ocurrir o no al unísono (Barrera et al., 2016). La duración del ciclo de la enfermedad está estrechamente ligada a las condiciones ambientales, a la variabilidad del patógeno y al estado fisiológico y grado de nutrición de la planta (García et al., 2017). En este sentido, estos autores indican que esta enfermedad se caracteriza por presentar diferentes grados de severidad durante el año, en función de las condiciones ambientales, pudiendo alcanzar niveles epidémicos que ocasionan graves daños a las plantas y pérdidas del rendimiento. Según estos autores, la enfermedad suele atravesar seis estadios: germinación y penetración de estomas en estadios 1 o 2, llamada periodo de infección-incubación; diseminación por el tejido foliar, en estadios 3 y 4, llamado periodo de colonización; y esporulación y dispersión, con lesiones foliares claramente visibles, en estadios 5 y 6.

Como resultado de su alta agresividad, la sigatoka negra se ha convertido en un problema de gran preocupación para los cultivadores y para la seguridad alimentaria en muchas regiones del mundo (Mengesha et al., 2023), por lo cual, hoy en día, es un componente de primer orden de la mayoría de los proyectos financiados por la Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, INIBAP; y por la Red de Investigación y Desarrollo del Plátano y el Banano para la América Latina y el Caribe, MUSALAC (Álvarez et al., 2015). Los objetivos propuestos por

estas instituciones están enmarcados hacia el mejoramiento e introducción de nuevas variedades, identificación de fuentes de resistencia, desarrollo de estrategias para combatir la enfermedad y su agente causal y el entrenamiento para el manejo más adecuado de la sigatoka negra.

La República Dominicana es uno de los principales exportadores mundiales de productos orgánicos tropicales. En la producción orgánica del país predominan los bananos, que representan alrededor del 80 % de todas las exportaciones orgánicas (FONTAGRO, 2021). Este volumen es debido entre otras razones a la disponibilidad y alta demanda de mercado, particularmente en Europa; a precios extras por productos orgánicos, las preocupaciones ambientales; la disponibilidad de recursos de la comunidad internacional para las ONG; la escasa utilización de insumos, y la comparativa poca presión de la sigatoka negra (CNC, 2012). No obstante, se reconoce que las variedades de bananos cultivadas, tanto para exportación como para consumo local son susceptibles a esta enfermedad (IDIAF y CEDAF, 2004). En el año 2011, el sector productivo liderado por ADOBANANO estimó pérdidas debidas a la sigatoka negra por un valor de US\$ 76 millones, lo cual implica un aumento del 25 % en los costos de producción por hectárea, una reducción en la calidad y una reducción en los volúmenes de las cosechas (Hoy, 2012). La FAO estimó para 2023 que las pérdidas por sigatoka negra siguieron siendo importantes en países como Guadalupe y Martinica, pero que en la Latinoamérica esta enfermedad perdió relevancia ante problemas como la fusariosis del banano Raza 4 Tropical (R4T) (FAO, 2024). No obstante, no se mencionan datos para la República Dominicana.

La provincia Valverde concentra el 35 % de los productores dominicanos que se dedican a la producción de bananos para la exportación y contiene el 32 % de las fincas sembradas de bananos, lo que representa el 36 % de la superficie de este cultivo (CNC, 2012). El 80 % de los sistemas de producción se caracterizan por tener baja productividad (≤ 40 cajas por hectárea a la semana) (SIBA, 2024). Al indagar en diferentes fuentes de investigación científica no se han reportado resultados que indiquen cómo se comporta la sigatoka negra en las cinco zonas de la provincia Valverde según los sistemas convencional y orgánico. Así, el propósito de este trabajo fue evaluar el comportamiento de la sigatoka negra, según sistemas y zona de producción bananera de la provincia Valverde, como línea base para recomendaciones de estrategias de manejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

El estudio se realizó entre la semana 26 del 2015 y 9 del 2016, en cinco zonas de la provincia Valverde, de República Dominicana (Tabla 1). La temperatura promedio anual es de 27.3 °C. La zona de vida que prevalece en la provincia, excepto en las montañas de la Cordillera Septentrional, es la de bosque seco (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales,

2024). El clima es seco estepario caliente de baja pluviometría, con temporada de lluvia bimodal. La precipitación media anual es de 737.2 mm, con una altitud media de 78 m s.n.m. Los vientos de la provincia son altamente perjudiciales para la siembra del banano; por tal razón, se han adoptado marcos de siembras que disminuyen la entrada del viento en las plantaciones: se bloquea la entrada de los vientos de la costa y se privilegia en la parte sur oeste los vientos de la cordillera central y septentrional (INDRHI, 2011).

Tabla 3. Ubicación georreferenciada de las fincas.

Zonas bananeras	Localidad	Altitud (m s.n.m.)	Latitud	Longitud
Palo Amarillo	Mao	73	19° 34' 146"	71° 03' 203"
El Charco	Laguna Salada	68	19° 35' 649"	71° 04' 628"
Guazumita	Esperanza	80	19° 36' 703"	71° 01' 829"
Cruce de Guayacanes	Laguna Salada	84	19° 38' 885"	71° 03' 859"
Los Cáceres	Jaibón	54	19° 37' 956"	71° 09' 77"

Metodología

Variables y parámetros medidos

- Periodo de incubación de *M. fijiensis*: registrado como el tiempo comprendido desde la infección de la hoja, es decir desde su emisión en estado dos del desarrollo de la hoja cigarro, hasta la manifestación de los primeros síntomas, determinado como estadio uno de la enfermedad (Fourè, 1988).
- Periodos de latencia sexual y asexual de *M. fijiensis*: periodo de latencia asexual, registrado como el tiempo comprendido desde la infección de la hoja, es decir desde su emisión en estado dos del desarrollo de la hoja cigarro, hasta la manifestación del síntoma determinado como estadio dos de la enfermedad (Fourè, 1988). Periodo de latencia sexual, registrado como el tiempo comprendido desde la infección de la hoja, es decir desde su emisión en estado dos del desarrollo de la hoja cigarro, hasta la manifestación del síntoma determinado como estadio seis de la enfermedad.
- Tiempo de desarrollo de la enfermedad: registrado como el tiempo comprendido desde la infección de la hoja, es decir desde su emisión en estado de cigarro, hasta la manifestación del síntoma determinado como estadio seis de la enfermedad.
- Ritmo de emisión foliar (REF): en diez plantas al azar, en cada finca y semana, se anotó el número de hoja presente y se restó del número de hojas anteriores. Se estimó el promedio.

- Estado evolutivo de la enfermedad (EE): se usó el método del preaviso biológico descrito por el CIRAD (Guillermet et al., 2016): se realizaron observaciones semanales en parcelas de 10 plantas seleccionadas al azar en las fincas de los productores. Se anotó el estadio más avanzado de la enfermedad en las hojas II, III y IV. Las observaciones concluyeron al momento de la emisión de la inflorescencia. Las observaciones se realizaron sobre hijos de sucesión, a fin de disponer de material vegetal sensible, apto para permitir la detección temprana de un nuevo ataque. Por ello, en plantaciones adultas, y como modificación al método, se seleccionaron 10 hijos de sucesión, cuando tenían no más de cinco hojas emitidas, después de la hoja F10 (primera hoja con 10 cm de ancho en la parte media). Dichas plantas fueron marcadas con cintas plásticas a fin de poder encontrarlas fácilmente en las futuras observaciones.
- Hojas más jóvenes enfermas: se evaluó semanal diez plantas contando las hojas desde arriba hacia abajo, hasta encontrar el grado de severidad más avanzado de la sigatoka negra en las hojas más jóvenes.
- Hojas más jóvenes necrosadas (HMJN): se evaluó semanal diez plantas contando las hojas desde arriba hacia, hasta encontrar el grado de severidad en estadio cinco en adelante de la sigatoka negra en las hojas más jóvenes.
- Número de hojas a floración (NHF): promedio de hojas funcionales en diez plantas en el momento en

que cada planta comenzó a florecer en las parcelas de observación.

- Número de hojas funcionales a la cosecha (NHC): número de hojas promedio de diez plantas, presentes al momento de la cosecha.
- Circunferencia de la planta madre (cm): medida en diez plantas, se midió la circunferencia a la altura de un metro sobre la superficie del suelo, con el uso de una cinta métrica.
- Altura de la planta madre (m): medida en diez plantas, se midió la altura con el uso de una regla métrica, desde la superficie del suelo hasta el punto más alto donde las hojas forman una "V".
- Número de manos por racimos: se contó las manos presentes en el racimo, después de haber salido la mano falsa, en diez plantas al azar, para obtener el promedio.
- Caudal de riego ($L s^{-1}$): con un aforador portátil se midió el promedio de los caudales de agua aplicada por el productor en cada turno de riego.
- Pluviometría (mm), temperatura ($^{\circ}C$) y velocidad del viento ($km h^{-1}$): medidas con un pluviómetro marca Oregón Scientific y estaciones meteorológicas marca Davis Instrument, ubicados en cada zona de estudio.

Diseño experimental y análisis estadístico

Fue un experimento en campo, donde los estadios de desarrollo de la enfermedad fueron evaluados en dos sistemas de producción de banano: convencional y orgánico, presente en cinco localidades. Se compararon las variables anteriormente descritas para cada zona y sistema de producción. Los datos fueron estandarizados usando limpieza ortotipográfica de los registros en campo, rechazando registros extraños, así como prueba de Q-test para determinación y exclusión de datos atípicos, complementada con el método de cajas y bigotes, que permitió excluir valores extremos que afectaban la normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) de los conjuntos de datos. Una vez se estandarizaron los datos, se analizaron mediante estadísticas descriptivas y procedimientos de análisis multivariado. Se usó análisis de componentes principales (ACP): se generaron los valores propios y proporción de la varianza explicada, la matriz de vectores propios (autovectores) de la matriz de transformación calculada vía matriz de correlación, y la matriz de correlación entre las variables originales y los

componentes principales. La proporción de la variación original explicada por cada componente principal de la matriz de correlación o matriz de determinación, fue estimada con el paquete estadístico Infostat v. 2016 (Di Rienzo et al., 2016). Mediante este análisis, a partir de un gran número de variables de la enfermedad, del cultivo y del clima, se dio explicación a través de un número de componentes no correlacionados, con la mínima pérdida de información. Con este análisis se realizó un gráfico bidimensional (BiPlot) a partir de los dos primeros componentes logrados en el ACP, los cuales explicaron la mayor proporción de la varianza total (Di Rienzo et al., 2016).

Utilizando el procedimiento de análisis de la varianza, se realizó la prueba de Kruskal Wallis ($p = 0.05$). Con este análisis se confirmó si para las zonas productoras de bananos y los sistemas de producción existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las variables de la sigatoka negra. Este análisis de varianza permitió comparar entre las variables de la enfermedad contenidas en los componentes principales que fueron más explicativas para las localidades muestreadas, en cada zona bananera en estudio de la provincia Valverde. Para los análisis se utilizó el programa Infostat v. 2016 (Di Rienzo et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Asociación de variables con la zona y sistema de producción

El 79 % de la variación de los datos en el sistema de producción convencional se explicó basada en los dos primeros componentes del ACP. Las variables más sensibles seleccionadas en el componente principal 1 (CP1) para el sistema de producción convencional fueron: variables de la enfermedad: NHC; variables climáticas: velocidad del viento y temperatura; variables de producción: circunferencia del seudotallo, manos/racimo, altura de la planta madre. En menor magnitud se encuentran las variables Temperatura, HMJE y HMJN, que se correlacionan con las localidades del Charco, Los Cáceres y Guazumita fueron separados en magnitud y dirección con aquellas variables medidas en Palo Amarillo y Cruce de Guayacanes tales como caudal de riego, pluviometría y estado evolutivo de la enfermedad. Por último y en menor magnitud el REF (Figura 1 A).

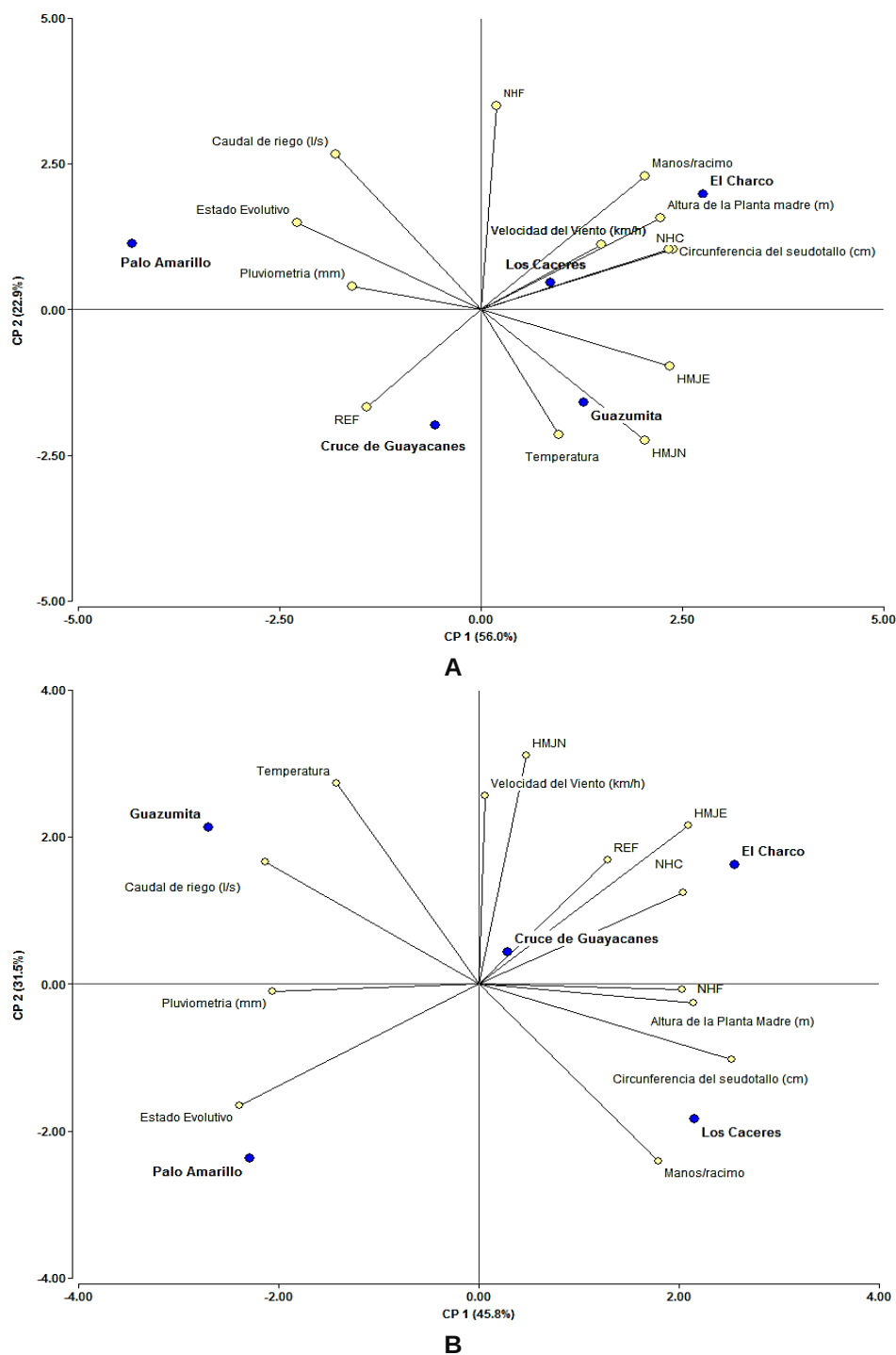


Figura 1. Gráfico Biplot de los dos componentes principales en los sistemas de producción: A. Convencional. B. Orgánico.

Los resultados mostrados coinciden con lo reportado por Mengesha et al. (2023), quienes indican que los factores que inciden en el desarrollo de la sigatoka son múltiples. Se incluyen factores genéticos, clima, humedad, etc, caso contrario a lo planteado por Aceves-Navarro et al. (2024), demostrando un no efecto de las variables climáticas en el desarrollo de la enfermedad en banano en Etiopia. Mientras Bebbler (2019), sugiere que un aumento de la producción de

banano y el comercio mundial probablemente han facilitado el establecimiento y la propagación de la sigatoka negra, el cambio climático ha hecho que la región sea cada vez más propicia para la infección de las plantas. Churchill (2011), concluye que *Mycosphaerella fijiensis* para su desarrollo requiere condiciones ambientales estrictas para un desarrollo óptimo de los hongos, incluyendo temperaturas alrededor de 27 °C para la germinación de las

ascosporas y el crecimiento del tubo germinativo, así como una superficie foliar húmeda; esto sugiere que una variabilidad climática podría afectar el desarrollo de la enfermedad en la zona de estudio, caso contrario a lo sugerido por Aceves-Navarro et al. (2024), esto se pudo observar en la Figura 1.

Al considerar el componente principal 2 (CP2), El Charco y Los Cáceres se ubicaron en el cuadrante superior derecho, principalmente debido al peso relativo de las variables antes mencionadas. Lo contrario se observó en Palo Amarillo, que además se diferenció significativamente en cuanto al caudal de riego aplicado, la pluviometría y el estado evolutivo de la enfermedad. En los cuadrantes inferiores Guazumita, relacionada con aquellos indicadores que representan magnitudes considerables de HMJE, HMJN y Temperatura, separado con menor magnitud de correlación del Cruce de Guayacanes, relacionado al REF.

En el sistema de producción orgánico el 78 % de la variación de los datos se explicó basada en los dos primeros componentes del ACP. Las variables más sensibles seleccionadas en el CP1 fueron: Las variables de la enfermedad: HMJN, HMJE, HJC y REF; la variable de producción: altura de la planta madre. Esas variables se correlacionan con las localidades El Charco, Los Cáceres, en menor magnitud El cruce de Guayacanes. Fueron separados en magnitud y dirección con aquellas variables medidas en Palo Amarillo y Guazumita tales como caudal de riego, temperatura, EE (Figura 1 B).

Al considerar el componente principal 2 (CP2), El Charco, Cruce de Guayacanes y Guazumita se ubicaron en los cuadrantes superiores, principalmente debido al peso relativo de la temperatura del aire y las variables de la enfermedad antes mencionadas. Lo contrario se observó en Palo Amarillo y Los Cáceres, que además se diferenciaron significativamente en cuanto al EE y las variables de producción manos/racimo y circunferencia delseudotallo. En los cuadrantes inferiores Los Cáceres y Palo Amarillo, relacionadas con aquellos indicadores que representan magnitudes considerables del EE, separado con mayor magnitud de correlación Los Cáceres, relacionado a la circunferencia delseudotallo y número de manos por racimo. En relación al sistema de producción y la incidencia de la enfermedad, Jimenez et al. (2007), indican que los síntomas de la enfermedad fueron más severos en las hojas provenientes del campo orgánico que en las hojas del

campo inorgánico. Las plantas de banano de la finca orgánica tenían 12 hojas funcionales en la floración y ocho hojas funcionales en la cosecha en comparación con el sistema convencional.

Comportamiento de las variables climáticas y el caudal de agua de riego en los diferentes sistemas de producción

No hubo diferencias estadísticas significativas ($p > 0.9999$), excepto el caudal de agua de riego ($p < 0.0001$): en el sistema orgánico fue superior al utilizado en el sistema convencional (63.67: 47.60 L s⁻¹). Aunque este hecho no responda a una recomendación particular en ambos sistemas de producción, sino más bien a una condición de los diferentes distritos de riego, como la infraestructura, volumen y disponibilidad de agua y el manejo por parte de las juntas de regantes, los caudales son altos y es condición suficiente para mantener la humedad relativa en las plantaciones para favorecer el crecimiento y desarrollo del hongo de manera permanente. En relación al clima, Aceves-Navarro et al. (2024), reportan no existen condiciones climáticas muy favorables para la aparición y desarrollo de *M. fijiensis*, según estudio realizado en México. Mientras Mengesha et al. (2023), reporta el distrito, año, tiempo de evaluación, fuente de humedad, fuente de material vegetal, cultivar de banano, etapa de crecimiento, patrón de cultivo, nutrientes, manejo de retoños y enfermedades, infestación de malezas y otras prácticas agronómicas se asociaron significativamente ($P < 0.05$ a 0.001) con una severidad de sigatoka negra del banano (BBS) de $> 50\%$ en el modelo de múltiples variables. Además, la alta precipitación y humedad, la baja temperatura, el lavado por lluvia y las salpicaduras de agua también se identificaron como las fuerzas impulsoras más importantes para la infección y el establecimiento de BBS.

Períodos de incubación y desarrollo de *Mycosphaerella fijiensis*

El análisis de varianza no paramétrica no indicó diferencias estadísticas significativas ($p = 0.9493$) para las variables del ciclo de vida del patógeno (Tabla 1). Los resultados de esta investigación indican que en las zonas bananeras Cruce de Guayacanes, El Charco, Guazumita, Palo Amarillo y Los Cáceres, los periodos de incubación y latencia sexual y asexual de *M. fijiensis* son similares, tanto en el sistema convencional como el orgánico.

El menor periodo de latencia del inoculo sexual, tanto en el sistema convencional, como en el orgánico, correspondió a la zona de producción de Palo Amarillo, con 77 y 82.5 días, respectivamente. Merchán (2000), en Colombia reporta 49 días para este periodo de desarrollo de la enfermedad. Estos resultados fueron estadísticamente contrarios a los obtenidos por Bornacelly (2009) en diferentes zonas de producción de bananos en Colombia; sin embargo, similar comportamiento al obtenido en este trabajo, donde las condiciones del clima (humedad) influyen sobre el ciclo de la enfermedad. Así, a mayor nivel de humedad, el ciclo es más corto, como lo fue en el caso de Palo Amarillo. Debido al manejo del riego en esta zona, se mantiene una mojadura foliar permanente, que favorece el desarrollo del patógeno. Además, de las prácticas de deshoje fitosanitario en las cuales permanecen amplia cantidad de inoculo si en la misma se dejan partes de hojas con síntomas en estadios 5 y

6 del desarrollo de la enfermedad (García et al., 2017).

Comportamiento de la sigatoka negra entre los diferentes sistemas de producción

Existen diferencias significativas para las variables de la enfermedad EE, HMJE, NHC, NHF y REF ($p = 0.0399, 0.0042, 0.0001, < 0.0001$ y 0.0001 , respectivamente) entre los sistemas de producción (Tabla 1). No hubo diferencias entre sistemas para las otras variables. Para la variable HMJN no hubo diferencias entre ambos sistemas ($p = 0.1195$). Esta última variable, indicativa de la severidad de daño que causa la enfermedad, es probable que con las prácticas de deshoje se estaría logrando el manejo deseable de manera generalizado y esto permite que se llegue a la cosecha con el número de hojas de 7.94 en el sistema convencional, y 7.77 en el sistema orgánico.

Tabla 1. Comportamiento de la sigatoka negra entre los diferentes sistemas de producción de bananos. Análisis de varianza y comparación de medias de las variables de la enfermedad.

Variables	Sistema de producción	Medias	Probabilidad
Estado evolutivo	Convencional	76.24 a	0.0399
	Orgánico	71.72 b	
Hoja más joven enferma (HMJE)	Convencional	6.65 a	0.0042
	Orgánico	6.28 b	
hoja más joven necrosada (HMJN)	Convencional	11.35 ns	0.1195
	Orgánico	11.20 ns	
Número de hojas a la floración (NHF)	Convencional	12.40 a	0.0001
	Orgánico	12.10 b	
Número de hojas a la cosecha (NHC)	Convencional	7.94 a	< 0.0001
	Orgánico	7.77 b	
Ritmo de emisión foliar (REF)	Convencional	1.10 a	< 0.0001
	Orgánico	1.05 b	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); ns = no significativo.

Así mismo, se observó que en la zona donde la sigatoka negra afecta con mayor intensidad es en Palo Amarillo, con un estado evolutivo de la enfermedad en 126, HMJE la 5.55 y HMJN la 10.42. Aunque el NHF fue similar al de otra zona de producción, el NHC (7.36) fue el más bajo. En esta zona el ritmo de crecimiento, medido por el REF, estuvo similar a las demás zonas, a excepción de la zona de los Cáceres que tuvo el menor ritmo de emisión foliar (1.01).

La zona de producción de bananos para exportación donde la sigatoka negra afectó con menor intensidad durante el periodo de evaluación fue El Charco. En esta se registró el menor estado evolutivo de la enfermedad (45.15), HMJE en posición 7.08. La zona de producción de El Charco presentó el mayor número de hojas a floración y cosecha y el mayor REF (1.14).

Las zonas de Los Cáceres, Guazumita y Cruce de Guayacanes, registraron comportamiento similar e intermedio entre las zonas de Palo Amarillo y El Charco, para estas variables de la enfermedad.

Marcano et al. (2024a), realizó estudio bacterias autóctonas promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plantaciones de banano orgánico, de Hato del Medio, Distrito Municipal Hatillo Palma, provincia Montecristi, República Dominicana. Dicha investigación, reportó la cepa MOSY21 identificada como *Pseudomonas plecoglossicida*, mostró el mejor resultado en cuanto a las variables evaluadas para el control de la enfermedad causada por *M. fijiensis*, así como en el desarrollo y la productividad de las plantas de banano. Anteriormente, Marcano (2014); Marcano et al. (2016^a

y 2016b), reportaron *P. plecoglossicida* con capacidad biocontroladora de sigatoka negra. Marcano et al. (2024b), en ensayo in vitro para control del crecimiento de sigatoka, reportan cuatro cepas como inhibidoras del crecimiento, estas fueron DARA33 (*Bacillus licheniformis*), MTF12 (*B. safensis*), PMB10 (*B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum*) y MAM11 (*Leclercia adecarboxylata*) y dieciséis cepas no inhiben su crecimiento. En estudio realizado en plátano, Nava et al. (2021), indican que con aplicaciones semanales de extractos biológicos se podría mantener la hoja número tres como la más joven que presentó la enfermedad y de grado tres o cuatro de incidencia de esta, siendo otra alternativa para controlar la sigatoka.

Tomando en cuenta que las variables climáticas y el comportamiento del cultivo fueron similares entre las zonas de producción, excepto para la precipitación, se podría inferir que las diferencias en el comportamiento de la sigatoka negra se deben más bien a diferencias en el manejo, como es el riego y el deshoje fitosanitario, más que a las condiciones climáticas locales, con excepción de la pluviometría. En definitiva, es la alta disponibilidad de agua la variable que está explicando el comportamiento desigual de la sigatoka entre los sistemas y las zonas de producción; más si esta coincide con un inóculo permanente en terreno. Aceves-Navarro et al. (2024), concluyen que no existen condiciones climáticas muy favorables para la aparición y desarrollo de *M. fijiensis*. Sin embargo, plantean que en general, la primavera y el verano son los meses menos favorables, mientras que el otoño y el invierno ofrecen condiciones más favorables.

CONCLUSIONES

El comportamiento de la enfermedad no depende del sistema de producción en sí, sino de las prácticas de cultivo y las condiciones climáticas imperantes en cada zona de producción de bananos, con especial énfasis en el riego aplicado y la pluviometría. Los periodos de Incubación, latencia asexual y sexual, que tienen que ver con la reproducción de inóculos y el ciclo de vida del patógeno, no fueron estadísticamente diferentes entre zonas y sistemas de producción. Los cambios en la evolución de la enfermedad, por ende, parecen estar influenciados por el efecto del agua disponible por lluvia o riego, la consecuente humectación de las hojas, que a temperaturas y disponibilidad de un inóculo ascospórico y conidial suficiente, desencadenan distintos niveles de infección de las hojas.

Agradecimientos

Al Proyecto BAM (Medida de acompañamiento del Banano, República Dominicana), en la persona del señor Jesús Coto (director técnico) y todo su personal por apoyar la investigación en las diversas fases. A los productores de la provincia Valverde José Eduardo Cabrera y Emilio Bonilla (Palo Amarillo), Osvaldo Serafín y Salomón Feliciano (El Charco), José Aquiles García y Luis Bonilla (La Guazumita), Rafael Ferreira y José Aquiles García (El Cruce de Guayacanes) y Juan Tomas Fernández y Ramón Tranquilino Medrano (Los Cáceres de Jaibón), por facilitar el acceso a sus fincas para las determinaciones de campo. Se agradece a los alumnos Nelson José Adamés, Crucita Jiménez y Roberto Antonio Polanco Reyes, por el levantamiento de informaciones en campo (egresados de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de la Universidad Autónoma de Santo Domingo).

BIBLIOGRAFÍA

- Aceves-Navarro, LA; Rivera-Hernández, B; Arrieta-Rivera, A; Juárez-López, J. 2024. Climatic variables that favor the Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) [anamorph: Pseudocercospora fijiensis (Morelet) Deighton] infestation in a banana-growing zone (en línea). Agro Productividad 16(12):41-48. Disponible en <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/articloe/view/2500>
- Álvarez, E; Pantoja, A; Gañan, L; Ceballos, G. 2015. Current status of Moko disease and black sigatoka in Latin America and the Caribbean, and options for managing them (en línea). FAO - CIAT. Roma. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/items/dac31c71-29f4-418c-86fe-0e75e41e5ee4>
- Barrera, VJ; Barraza, AF; Campo, AR. 2016. Efecto del sombrío sobre la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en cultivo de plátano cv hartón (*Musa AAB Simmonds*) (en línea). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 19(2):317-323. Disponible en <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.85>
- Bebber, DP. 2019. Climate change effects Black Sigatoka disease of banana (en línea). Philosophical Transactions of the Royal Society B. 374(1775):20180269. Disponible en <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2018.0269>
- Bornacelly, H. 2009. Estudio del ciclo de Vida de *Mycosphaerella fijiensis* en tres clones de Banano (*Musa AAA*) en tres Regiones de la Zona Bananera del Magdalena (en línea). Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2463/8006001.2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2013. La Sigatoka negra en plátano y banano (en línea). Disponible en <https://www.fao.org/4/as089s/as089s.pdf>
- Churchill, AC. 2011. *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control (en línea). Molecular Plant Pathology 12(4):307-328. Disponible en <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21453427/>
- CNC (Consejo Nacional de Competitividad). 2012. Los mercados del banano orgánico y de comercio justo de la República Dominicana: evolución reciente y perspectivas. Recomendaciones para la elaboración de una estrategia de mercado sostenible (en línea). Estrategia nacional del sector bananero de la República Dominicana. Programa Desarrollo de Capacidades en Apoyo a las Políticas Sectoriales en el Área Competitividad. FIODM – CNC. Roma. Disponible en https://intranet.cedaf.org.do/digital/mercados_banano.pdf
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2016. InfoStat, versión 2016, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2024. Banano (en línea). Análisis del mercado 2023. Roma. Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/318cda0c-dae9-4c24-a8cb-44afd40b90c3/content>
- FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria). 2021. 3. Monografía de la formulación del plan de negocio para AHOra. En: AHOra: Aplicativo para productores familiares de musáceas Producto (en línea). Bolaños-Benavides, MM; Yzquierdo, GAR; Yacomelo, MJ; Rodríguez-AGROSAVIA, CLC, Rojas-INIA, JC, & Rengifo-IDIAF, D. Disponible en https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19055_-_Producto_3.pdf
- Fouré, E. 1988. Estrategias de lucha contra la sigatoka negra de los bananos y plátanos provocada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Fruits 43(5):269274.
- García, J; Farias, N; Benavides-JR; Escobar, E. 2017. Procesamiento de imágenes aplicadas a la identificación de agentes patógenos en el cultivo de plátano (en línea). Revista de las Tecnologías de la Información 4(13):23-31. Disponible en http://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Tecnologias_de_la_Informacion/vol4num13/Revista_de_Tecnologias_de_la_Informacion_V4_N13_3.pdf
- Guillemet, C; De Lapeyre de Bellaire, L; Le Guen, R; Rodriguez, A; Coto, J; Polanco, T; Céspedes, C; Peralta M. 2016. Guía técnica implementación del sistema de preaviso biológico para el manejo de la sigatoka negra en fincas de banano convencionales (en línea). San Salvador: OIRSA; CIRAD. Disponible en https://publications.cirad.fr/une_notice.php?dk=583919
- Hoy. 2012. Productores plátanos sufrieron pérdidas por US\$76 millones (en línea). Periódico digital Hoy. Disponible en <https://hoy.com.do/productores-platanos-sufrieron-perdidas-por-us76-millones/>
- IDIAF (Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales) y CEDAF (Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal). 2004. Musáceas: resultados de investigación (en línea). Santo Domingo. Disponible en <https://intranet.cedaf.org.do/digital/musaceas.pdf>
- INDRHI (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos). 2011. Estudio de identificación, evaluación y selección de la tecnología de riego. Programa conjunto para el fortalecimiento de la cadena de valor del banano mediante el crecimiento de mercados inclusivos (Proyecto FAO UNJP/DOM/013/SPA). Disponible en https://intranet.cedaf.org.do/digital/estudio_identificacion.pdf
- Jimenez, M; Van der Veken, L; Neiryck, H; Rodríguez, H; Ruiz, O; Swennen, R. 2007. Organic banana production in Ecuador: Its implications on black Sigatoka development and plant-soil nutritional status. Renewable Agriculture and Food Systems 22(4):297-306.
- Marcano, IE. 2014. Aislamiento y caracterización de bacterias de la rizosfera de banano (*Musa* sp.) en República Dominicana y selección de cepas para el desarrollo de biofertilizantes (en línea). España: Tesis doctoral de la Universidad de León. Disponible en <https://buleria.unileon.es/handle/10612/4157>
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Seco, V; Urbano, B; González-Andrés, F. 2016a. Induced Systemic Resistance Could Explain the Reduction in the Incidence of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) in Banana Plants Inoculated with Bacteria Isolated from Banana Tree Roots in the Dominican Republic (en línea). SN - 978-3-319- 32526-2. Biological Nitrogen Fixation and Beneficial Plant Microbe Interaction. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-3-319-32526-6_14
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Urbano, B; González-Andrés, F. 2016b. Assessment of bacterial populations associated with banana tree roots and development of successful plant probiotics for banana crop (en línea). Soil Biology and Biochemistry 99:1-20. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071716300402>
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Pimentel Pujols, ÁR; Vicioso Alcalá, ÁF; Núñez Ramos, PA. 2024a. Use of native plant growth promoting bacteria (PGPR) in the control of *Mycosphaerella fijiensis* in organic banana plantations in Dominican Republic (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 11(2):47-56. Disponible en <https://doi.org/10.53287/tcga1188ja16w>
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Pujols, ÁRP; Alcalá, ÁFV; Ramos, PAN. 2024b. Inhibición de *Mycosphaerella fijiensis* en banano orgánico (*Musa* AAA L.) con la aplicación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 11(3):7-15. Disponible en https://doi.org/10.53287/kxys3855fa98o_

- Mengesha, GG; Jambo, A; Terefe, H; Mekonnen, S; Simion, T; Mensa, A; Fikre, G; Ayele, M; Woldeyohanes, Y; Lemma, B; Turuko, M; Ayele, T; Yemataw, Z, Woldesilassie, AB. 2023. Agronomic practices and environmental factors influenced the distribution and severity of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) of banana in southern Ethiopia (en línea). Journal of Plant Pathology 105(4):1371-1390. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s42161-023-01461-7>
- Merchán, VME. 2000. Prevención y Manejo de la sigatoka negra. Boletín Divulgativo (en línea). ICA Ed. No2. Manizales, diciembre, 2000. Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/15357>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2024. Valverde (en línea). Gobierno de la República Dominicana. Disponible en <https://ambiente.gob.do/informacion-ambiental/informacion-provincial/valverde/>
- Nava, JC; Urdaneta, TC; Centanaro, PH. 2021. Alternativas Ecológicas de Control de *Mycosphaerella fijiensis* en el Cultivo de Plátano (en línea). Revista Técnica 44(3):199-208. Disponible en <https://produccioncientificaluz.org/index.php/tecnica/article/view/36400>
- SIBA (Sistema de información bananera de la República Dominicana). 2024. Producción Nacional. Producción, Exportación, Productividad, Origen Banano Orgánico (en línea). Disponible en <https://siba.org.do/rendimiento/>

Artículo recibido en: 30 de enero del 2025

Aceptado en: 18 de abril del 2025