

**Evaluación de número de aplicaciones de
fungicidas orgánicos en producción de
plátano (*Musa paradisiaca* AAB)**

**Franklin Benito Casco Traña
José Ignacio Kronfle Gómez**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de número de aplicaciones de fungicidas orgánicos en producción de plátano (*Musa paradisiaca* AAB)

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Franklin Benito Casco Traña
José Ignacio Kronfle Gómez

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2018

Evaluación de número de aplicaciones de fungicidas orgánicos en la producción de plátano (*Musa paradisiaca* AAB)

Franklin Benito Casco Traña
José Ignacio Kronfle Gómez

Resumen. La sigatoka negra causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, es la principal enfermedad foliar del plátano. La constante aplicación de productos químicos ha llevado al desarrollo de resistencias a nivel de campo. Dado esto, es importante la identificación de productos alternativos para el control de sigatoka en musáceas. Las fitoalexinas son compuestos que aumentan los niveles de defensas naturales en las plantas permitiéndoles tener un buen crecimiento. Productos de origen vegetal, han demostrado promover la producción de fitoalexinas en diversos cultivos y reducir la incidencia de enfermedades. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos fungicidas orgánicos (*Reynoutria sachalinensis* y M-110) y tres frecuencias de aplicación en la producción de plátano. Se establecieron ocho tratamientos y cuatro repeticiones en un diseño de bloques completamente al azar. Para las variables número de hojas, incidencia de enfermedad foliar y rendimiento, no hubo efecto de la frecuencia de aplicación de los biofungicidas (*R. sachalinensis* y M-110) a las 38, 44 y 50 semanas después de siembra. *R. sachalinensis* mostró un control parcial de los tubos germinativos de *M. fijiensis*. No es recomendable hacer aplicaciones de los fungicidas orgánicos en las condiciones del experimento a las 38 semanas después de siembra, ya que ningún biofungicida mostró efecto en la producción del plátano.

Palabras clave: Biofungicida, *Mycosphaerella fijiensis*, sigatoka.

Abstract. Black sigatoka, caused by the fungus *Mycosphaerella fijiensis*, is the most dangerous disease of plantain. The constant application of chemical fungicides has led to the development of resistance at field level. It is important to identify alternative products for sigatoka control. Phytoalexins are compounds that increase plant's natural defense levels. Plant-based products promote production of phytoalexins on different crops and disease incidence reduction. The objective of this study was to evaluate the effect of two organic fungicides (*Reynoutria sachalinensis* and M-110) and three application frequencies on plantain production. Eight treatments with four repetitions were distributed in a randomized complete block design. There was no effect of the application frequency of *R. sachalinensis* and M-110 at week 38, 44 and 50 after planting for number of leaves, disease incidence, and total yield. *R. sachalinensis* showed a partially control of the germination tubes of *M. fijiensis*. None of the biofungicides showed effect on the production of plantain, therefore their applications are not recommended in conditions similar to this study.

Key words: Biofungicide, *Mycosphaerella fijiensis*, sigatoka.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros y Figuras	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
4. CONCLUSIÓN.....	15
5. RECOMENDACIONES	16
6. LITERATURA CITADA	17

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros		Página
1.	Descripción de tratamientos del experimento para la evaluación de número de aplicaciones de dos fungicidas orgánicos en la producción de plátano.	5
2.	Efecto de la frecuencia de aplicación de <i>Reynoutria sachalinensis</i> y M-110 en el diámetro de pseudotallo a las 42 y 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.	9
3.	Efecto de M-110 y los controles en el diámetro de pseudotallo a las 42 y 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.	9
4.	Efecto de M-110 y los controles en el número de hojas a las 42 y 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.	10
5.	Efecto de M-110 y los controles en el peso promedio del racimo y número de dedos por racimo, a las 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.	11
6.	Efecto de M-110 y controles relativos en el porcentaje de incidencia de enfermedad a las 38, 42, 46 y 50 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.	12
7.	Porcentajes de inhibición de crecimiento de los tubos germinativos de esporas de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> a concentraciones crecientes de <i>Reynoutria sachalinensis</i> y M-110.	13
8.	Porcentajes de inhibición en la germinación de esporas de <i>Mycosphaerella fijiensis</i> a concentraciones crecientes de <i>Reynoutria sachalinensis</i> y M-110.	14
Figuras		Página
1.	Fotos de referencia para grados de severidad de sigatoka en el cultivo de plátano.	6
2.	Temperatura y precipitación del año 2017 en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Elaboración propia de datos tomados de la estación meteorológica de Campus Central, Zamorano.	8

1. INTRODUCCIÓN

El plátano (*Musa* spp. AAB), es un cultivo perenne que puede llegar a cosecharse durante todo el año en países tropicales. En el 2016, se cultivaron alrededor de 4.6 millones de hectáreas de plátano en todo el mundo, de las cuales se obtuvo un total de 35 millones de toneladas de fruta cosechada. América Latina y el Caribe alcanzaron una producción de 2.97 millones de toneladas de plátano en 1.6 millones de hectáreas, posicionándose en el segundo lugar a nivel mundial (FAOSTAT 2016).

Las condiciones climáticas adecuadas para la producción de plátano son temperaturas entre 25 y 30°C, con una precipitación media entre 1,500 y 2,500 mm al año (Ravi y Mohamed 2013). Condiciones adversas a las mencionadas anteriormente, pueden llegar a convertirse en una limitante y afectar potencialmente la producción (Suárez *et al.* 2003). Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia el costo total de la inversión y el mantenimiento de una hectárea de plátano por un año de producción es de US \$3,000. En donde el 16 - 30% de estos costos están destinados para el control de enfermedades (MADR 2014).

Uno de los mayores retos de la producción de plátano es el manejo de plagas y enfermedades. La sigatoka negra es una enfermedad policíclica (presente todo el tiempo) (Vázquez *et al.* 2012). Esta enfermedad foliar es la más importante en las musáceas a escala global (Guzmán 2012). Causa un detrimento foliar, reduce el rendimiento y la tasa de crecimiento al restringir la capacidad de fotosíntesis e inducir una maduración prematura de los racimos en la planta (Aguirre *et al.* 2012).

El ciclo de vida de la sigatoka tiene dos estados de reproducción, una sexual producida por *Mycosphaerella fijiensis* y otra asexual por *Paracercospora fijiensis*. En la etapa asexual la sigatoka produce conidios que producen las primeras etapas necrotóficas. La etapa sexual produce ascosporas liberadas por estructuras llamadas pseudotecios, responsables de la muerte celular de la hoja (Vázquez *et al.* 2012).

El proceso infectivo inicia con la germinación de las esporas (conidios y ascosporas), después de haber sido liberadas y rociadas por medio del viento y el agua, se sitúan sobre otras hojas de la planta. El hongo asimila el tejido foliar y se produce el primer síntoma particular de pizca y subsiguientemente aparece la mancha necrótica (Aguirre *et al.* 2012).

Aunque esta enfermedad puede adaptarse a varios tipos de clima, el desarrollo ideal de este hongo se da en temperaturas entre 25 y 28°C (Ravi y Mohamed 2013). Existe evidencia en cuanto a la resistencia de patógenos a fungicidas y mermas de sensibilidad por parte de estos patógenos a la aplicación constante de benzimidazoles y triazoles (Aguirre *et al.* 2012). El manejo de estos patógenos puede volverse una labor tediosa, pero es un factor crítico que repercute directamente en el rendimiento del cultivo. Si no se cuenta con un manejo adecuado durante todo el ciclo puede reducir la rentabilidad del sistema (ICA 2012).

El control químico es la herramienta más efectiva contra esta enfermedad (Villalta y Guzmán 2004). Sin embargo, los mercados internacionales exigen cada vez más la reducción de agroquímicos. Esto ha generado la necesidad de búsqueda de controladores biológicos como uso alternativo, dentro de un manejo integrado de enfermedades (Guzmán 2012).

Ciertas investigaciones han demostrado que el uso de fungicidas orgánicos y bioestimulantes en conjunto con fungicidas convencionales pueden inhibir el desarrollo de la sigatoka negra (Suárez *et al.* 2003). Los fungicidas de origen vegetal son combinaciones de vitaminas, proteínas y reguladores de crecimiento. Estas formulaciones permiten que exista una integración de señales estructurales dentro de la planta. Además, provocan que el transporte, metabolismo y almacenamiento de nutrientes sean más eficientes, promoviendo así, el crecimiento y desarrollo de la planta (Lafargue 2015).

Algunos extractos botánicos han llegado a resultar en actividad fungitóxicas contra la sigatoka negra (Marín *et al.* 2009). Según Rodríguez *et al.* (2010), una herramienta para el control de sigatoka, es el uso de productos que promuevan las fitoalexinas en la planta. La fitoalexinas son sustancias de defensas con propiedades antibióticas, tóxicas para hongos y bacterias. No se conoce con claridad el efecto tóxico que producen las fitoalexinas a estos microorganismos (García y Pérez 2003), pero se sabe que la producción de estas sustancias en la planta se da en respuesta a estímulos físicos, químicos o microbiológicos (Rodríguez *et al.* 2011).

Se han identificado más de 150 metabolitos producidos por fitoalexinas en diferentes plantas (García y Pérez 2003). Estudios en campo abierto con banano, han demostrado que el uso de algunos inductores de fitoalexinas para el control de sigatoka no elimina totalmente la enfermedad, pero hace que la planta pueda generar los niveles de defensas necesarios para producir un fruto de calidad (Rodríguez *et al.* 2011). Así mismo, otro estudio en banano demostró que el uso de productos inductores de fitoalexinas reduce el porcentaje de daño de la sigatoka en la hoja (Rodríguez *et al.* 2010).

Reynoutria sachalinensis es un extracto botánico, mercadeado como un fungicida orgánico. La aplicación del extracto de *R. sachalinensis* tiene como efecto, el incremento en la producción de fitoalexinas, aumenta el contenido de clorofila y así mismo la actividad de peroxidasas (Daayf *et al.* 1997). Las peroxidasas influyen en la polimerización dependiente de H₂O₂ de alcoholes hidroxicinámilicos (monolignoles), durante el estadio final de la síntesis de lignina. Las plantas de banano muestran un marcado aumento en la concentración de estos compuestos durante las primeras 18 horas de la infección, lo que

puede indicar procesos de lignificación celular (Torres *et al.* 2009). Así mismo está relacionada con la producción de compuestos fenólicos (flavonoides) (Su *et al.* 2012). Esto le permite a la planta tener cierta resistencia al ataque de organismos exógenos.

Basado en esto, se podría establecer la hipótesis de que la aplicación de dos biofungicidas, combinados en un programa convencional de sigatoka, podría reducir los niveles de infección de la enfermedad comparado con un programa netamente químico. Además, aplicaciones constantes de estimuladores de fitolexinas podrían mejorar su eficiencia de aplicación. Es por eso que el objetivo del experimento fue:

- Evaluar el efecto de dos fungicidas orgánicos y tres frecuencias de aplicación en la producción de plátano en Honduras.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación.

El estudio se realizó entre los meses de julio y octubre del año 2017, en la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, Honduras.

Establecimiento del cultivo.

El ensayo se desarrolló en una plantación de plátano variedad Curaré enano, a un distanciamiento de doble hilera en tresbolillo a $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ entre plantas y 4 m entre cama (3,333 plantas/ha). La variedad se caracteriza por rendimientos esperados de 25 a 30 dedos por planta. El 1 octubre del 2016 se realizó la siembra con el uso de cormos a una profundidad de siembra de 30 cm. Previo a la siembra se aplicó insecticida Regent (fipronil) a una concentración de 0.03 mL/L.

Manejo del Cultivo.

Fertilización. El programa de fertilización que se aplicó durante todo el ciclo del cultivo consistió de aplicaciones al suelo de 350 kg/ha de N, 400 kg/ha de K_2O y 200 kg/ha de P_2O_5 y aplicaciones foliares de Triple 20 a concentraciones de 5.56 g/L en intervalos de cuatro semanas.

Control de plagas y enfermedades. El programa de manejo y control de plagas y enfermedades realizadas durante el ciclo productivo del cultivo de plátano, comprendió aplicaciones quincenales intercaladas de fungicidas (Silvacur a dosis de 0.5 L/ha y 0.2 L/ha de Megacobro) para el control de sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) y aplicaciones mensuales de insecticida (Regent a una concentración de 0.56 mL/L) para el control del picudo negro del plátano (*Cosmopolites sordus*).

Prácticas culturales. El cronograma de prácticas culturales realizadas durante todo el ciclo de producción del cultivo, se basó en el conteo de picudos en trampas cada 30 días, el deshoje (eliminación de hojas muertas o infectadas) y desmalezado con intervalos de 45 días y un desmane (remoción de manos del racimo con el fin de dejar solo cinco manos para cosecha) a las 40 semanas después de siembra del plátano.

Riego. Se instalaron dos cintas de goteo marca Azud® por cama, con un caudal de 1.1 L/h y un distanciamiento de 20 cm entre goteros. El volumen del riego fue de $0.029\text{ m}^3/\text{día}$ con una duración de cuatro horas y una frecuencia de aplicación entre evento de riego de dos

días. No se aplicó riego durante eventos de precipitación distanciados por al menos cinco días.

Tratamientos.

El experimento constó de ocho tratamientos, en los cuales, dos de ellos fueron controles, siendo el control absoluto aquel al que no se le realizó ningún tipo de aplicación y el control relativo al que se le realizaron las aplicaciones únicamente del programa de plagas y enfermedades descrito anteriormente. A los demás tratamientos se les aplicaron los fungicidas orgánicos *Reynoutria sachalinensis* y M-110 (extracto de *Bacillus amiloliquefaciens*) en conjunto con el programa de control de plagas y enfermedades. Todos los tratamientos de este ensayo, se iniciaron a las 38 semanas después de siembra (SDS) del cultivo para la evaluación de número de aplicación de los fungicidas orgánicos en la producción de plátano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de tratamientos del experimento para la evaluación de número de aplicaciones de dos fungicidas orgánicos en la producción de plátano.

Productos	Dosis total aplicada (L/ha)	No. de aplicaciones	Semana de aplicación
Sin aplicaciones	N/A	N/A	Sin aplicaciones
Control relativo	N/A	N/A	Tratamiento convencional
<i>R. sachalinensis</i>	13	1	38 SDS [‡]
<i>R. sachalinensis</i>	26	2	38 y 44 SDS
<i>R. sachalinensis</i>	39	3	38, 44 y 50 SDS
M-110	13	1	38 SDS
M-110	26	2	38 y 44 SDS
M-110	39	3	38, 44 y 50 SDS

[‡]SDS: Semanas después de siembra

Variables evaluadas.

Grado incidencia de enfermedad. Se midió a las 38, 42, 46 y 50 semanas después de siembra (SDS). Las muestras fueron tomadas mediante una evaluación visual de la infestación del hongo en las hojas de las plantas. El porcentaje de infestación por hoja se sometió a la fórmula de Stover modificada por Pérez *et al.* (2002):

$$II\% = (\sum a_n / 6N) \times 100 \quad [1]$$

Donde cada una de las variables que conforman la formula se definen como:

II% = Porcentaje de incidencia.

a = Grado de severidad.

n = Número de hoja en cada evaluación.

N = Número total de hojas evaluadas.

Para determinar el grado de severidad se utilizó la siguiente escala propuesta por Huete (2017), siendo grado 0 = hojas con 0 a < 5% de manchas necróticas; grado 1 = hoja con > 5% de área necrótica; grado 2 = hojas con 6 a 15% de área necrótica; grado 3 = hojas con 16 a 33% de área necrótica; grado 4 = hojas con 34 a 50% de área necrótica; grado 5 = hojas con más del 50% de área necrótica (Figura 1).

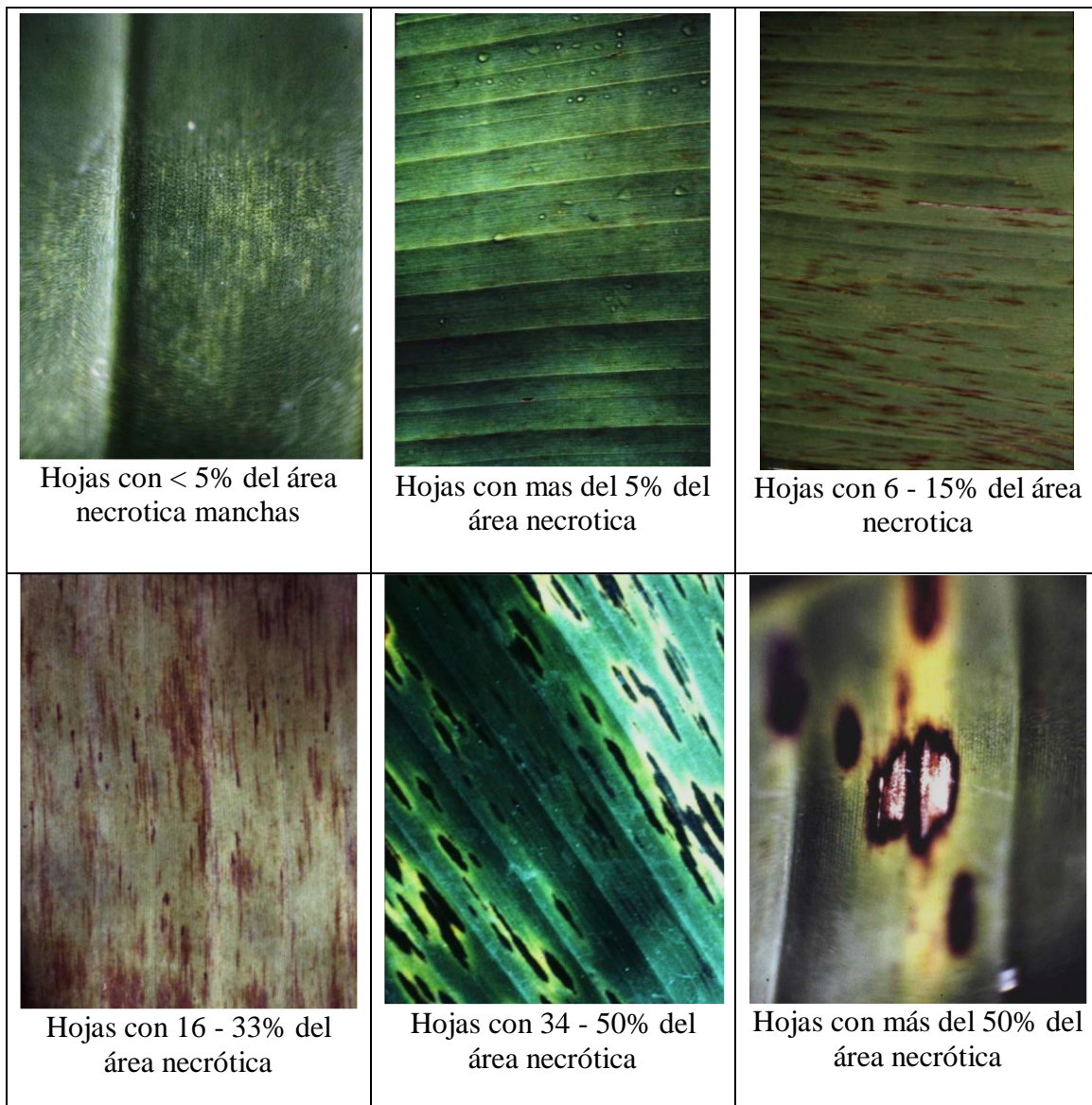


Figura 1. Grados de severidad de sigatoka en el cultivo de plátano (Huete, 2017)

Número de hojas. Se realizó mediante el conteo visual de las hojas tomando como referencia la hoja bandera de la planta. Este se hizo a las 42 y 52 SDS.

Diámetro de pseudotallo. Se midió con una cinta métrica a 20 cm sobre el suelo. La medición se realizó a las 42 y 52 SDS.

Peso promedio de racimo. Se cosecharon cuatro racimos por tratamiento. Cada racimo se pesó individualmente y por último se calculó el peso promedio del racimo por cada tratamiento a las 52 SDS.

Número de dedos. Se realizó un conteo de dedos por cada racimo a las 52 SDS. Luego se calculó un promedio de dedos por racimo.

Diseño experimental.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con ocho tratamientos y cuatro repeticiones, para un total de 32 unidades experimentales. Cada unidad experimental tuvo ocho plantas para cada medición. En cada tratamiento solo se evaluaron cuatro plantas del centro, dejando en cada borde dos plantas.

Análisis Estadístico.

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con el modelo general lineal. En caso de presentarse diferencias significativas las medias fueron separadas por la prueba Fisher's Diferencia mínima significativa (LSD por sus siglas en inglés). Se usó el programa estadístico Statistix 9.

Evaluación *in vitro* de los fungicidas orgánicos *Reynoutria sachalinensis* y M-110 para el control de sigatoka.

En el mes de diciembre, se realizó un análisis *in vitro* de tejido infectado con sigatoka en las instalaciones del laboratorio Monreri, San José, Costa Rica. Se recolectó material seco con lesiones de sigatoka negra en grado cinco. La muestra se tomó en Finca San Rafael, ubicada en Pococí, Costa Rica.

Para el proceso de incubación se graparon los cuadros de hojas infectadas en papel bond blanco de 10 × 14 cm (para cubrir el plato Petri). El papel se sumergió por cinco minutos en agua destilada. Posteriormente a esto, el material (papel con material infectado) se dejó estilando sobre los platos Petri con concentraciones crecientes de Kenrymoon previamente preparadas utilizando un medio nutritivo agar-agua al 2% por 1 hora. Una vez transcurrido el tiempo de descargo, se removió el papel y se colocaron los platos Petri a 26°C por 48 horas. Las variables evaluadas fueron:

Medición de germinación de ascosporas y crecimiento del tubo germinativo. Se evaluó el porcentaje de crecimiento del tubo germinativo con respecto al testigo. Las concentraciones evaluadas fueron 0, 0.01, 0.1, 1.0, 10 y 100 ppm de la formulación de *Reynoutria sachalinensis* y M-110. En cada muestra se determinó el EC50 o concentración necesaria para inhibir el 50% de crecimiento de la población de evaluada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Temperatura.

La temperatura promedio durante el estudio fue de 23°C con una máxima de 35°C y una mínima de 10°C. En los meses de marzo, abril y mayo se presentaron las temperaturas más altas con 33, 35 y 34°C, respectivamente (Figura 2).

Precipitación.

La precipitación acumulada del año fue de 986.2 mm con una precipitación acumulada del periodo de evaluación de 410 mm, donde los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre no presentaron lluvias relevantes, mientras que para los meses de abril, mayo, junio, julio (mes con mayor precipitación), agosto, septiembre y octubre, hubo una precipitación más elevada (Figura 2).

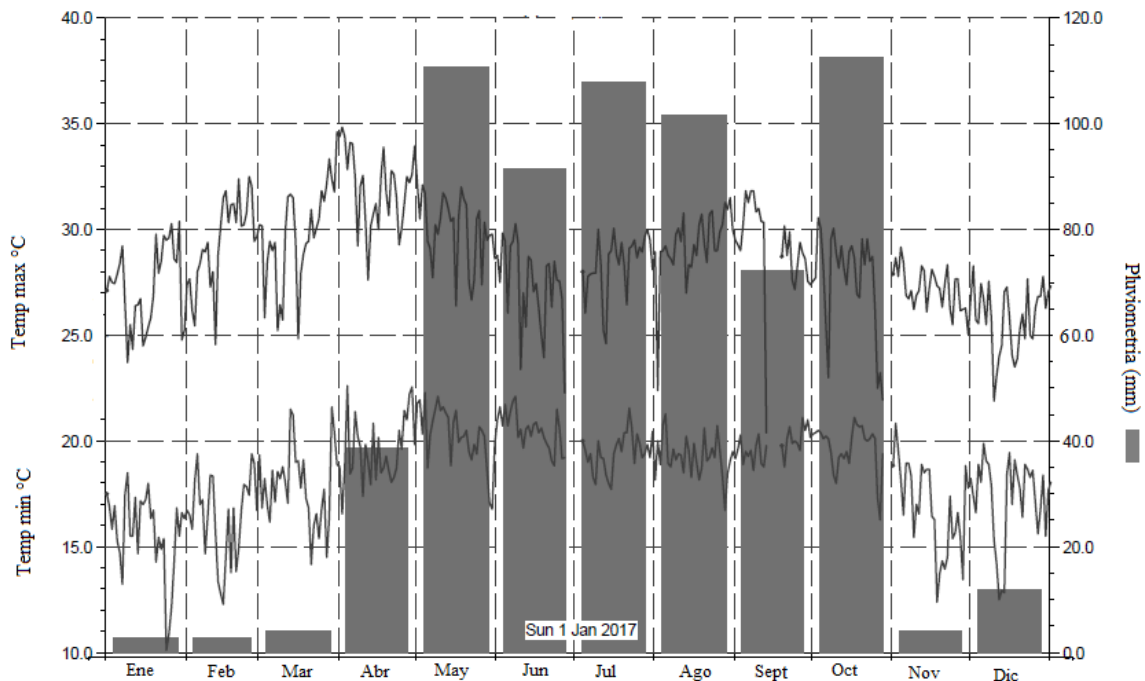


Figura 2. Temperatura y precipitación del año 2017 en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Elaboración propia de datos tomados de la estación meteorológica de Campus Central, Zamorano.

Diámetro de pseudotallo.

La frecuencia de aplicación y la interacción entre frecuencia y producto no tuvieron efecto en el diámetro del pseudotallo de la planta a las 42 y 52 semanas después de siembra (SDS). Sin embargo, el producto si tuvo un efecto significativo en el diámetro de pseudotallo (Cuadro 2). Los tratamientos con aplicaciones de M-110 resultaron en un 3% de incremento en el diámetro de pseudotallo, comparado a los tratamientos con aplicaciones de *Reynoutria sachalinensis* a las 42 y 52 SDS. Posterior al análisis comparativo entre *Reynoutria sachalinensis* y M-110, se comparó M-110 y los controles. M-110 no presentó diferencia en el diámetro de pseudotallo comparado a los controles a las 42 y 52 SDS (Cuadro 3).

Cuadro 2. Efecto de la frecuencia de aplicación de *Reynoutria sachalinensis* y M-110 en el diámetro de pseudotallo a las 42 y 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.

Factores	Diámetro de pseudotallo (cm)	
	Semanas después de siembra	
	42 SDS	52 SDS
<i>Reynoutria sachalinensis</i>	66.02 b	66.18 b
M-110	68.36 a	68.54 a
Producto (P)	*	*
N°. Aplicación (N)	NS	NS
P × N	NS	NS
Coefficiente de variación (%)	2.06	1.98

*: Diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

NS: no existe significancia ($P > 0.05$)

Cuadro 3. Efecto de M-110 y los controles en el diámetro de pseudotallo a las 42 y 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.

Factores	Diámetro de pseudotallo (cm)	
	Semanas después de siembra	
	42 SDS	52 SDS
M-110	68.36	68.54
Sin aplicación	70.12	70.16
Control relativo	67.93	69.37
Probabilidad	NS	NS
Coefficiente de variación (%)	5.19	6.39

NS: no existe significancia ($P > 0.05$)

Número de Hojas.

La frecuencia de aplicación, el producto y la interacción de los dos factores, no tuvieron efecto en el número de hojas de la planta a las 42 y 52 SDS. Después de haber realizado el análisis comparativo entre *Reynoutria sachalinensis* y M-110, se procedió a comparar M-

110 y los controles. M-110 no presentó diferencia en el número de hojas comparado a los controles a las 42 y 52 SDS (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de M-110 y los controles en el número de hojas a las 42 y 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.

Factores	Número de hojas	
	Semanas después de siembra	
	42 SDS	52 SDS
M-110	13.43	10.56
Sin aplicación	12.60	10.68
Control relativo	12.87	10.25
Probabilidad	NS	NS
Coeficiente de variación (%)	5.43	5.79

NS: no existe significancia ($P > 0.05$)

La primera aplicación de ambos productos se realizó cuando alrededor del 70 % de todas las plantas iniciaban la etapa de floración. A las 42 SDS, las plantas en este estudio alcanzaron de 11 a 14 hojas funcionales y a cosecha (52 SDS) contaban con 8 a 11 hojas funcionales, esta reducción fue debido a que se realizó un deshoje en las plantas entre estas fechas. El número de hojas de una plantación depende del manejo de la finca y del porcentaje de incidencia de sigatoka de la misma. Cuando se cosecha, es preferible que la plantación tenga el mayor número de hojas funcionales por planta (Restrepo 2015). Los mejores rendimientos en plátano se dan cuando las plantas llegan a floración con 10 a 12 hojas por planta. Existe una relación directa entre el número de hojas con peso de racimo. A mayor número de hojas funcionales, mayor peso de racimo a cosecha (Fagiani y Tapia 2007).

Según Orozco-Santos *et al.* (2008), las hojas enfermas que se quedan en la planta con síntomas de infección muestran la fase más elevada de liberación y producción de esporas de la sigatoka, las cuales pueden seguir afectando la plantación durante 20 semanas. Sin embargo, Álvarez *et al.* (2013), recomiendan que el deshoje se realice cuando las hojas tienen más del 50% de incidencia de la enfermedad. Las hojas de las plantas del experimento no mostraron niveles mayores a 39% de incidencia, y solo se realizaron dos deshojes después del inicio del experimento.

El control relativo en donde no se realizaron aplicaciones de los fungicidas orgánicos durante el experimento, testifica el buen manejo de enfermedades que tuvo la plantación previa al inicio del experimento ya que, comparándolo con los demás tratamientos, fue igual en todas las variables.

La alta densidad de plantas que se usó en este experimento, justifica la baja presión de sigatoka en la plantación ya que por el traslape de las hojas, no hay mayor penetración de agua y de rayos solares que permitan la diseminación de esta enfermedad. Por otro lado Ulloa (2015), señala que producir Curaré enano en densidades altas tiene como ventaja

reducir el uso de agroquímicos y recomienda hacer seis aplicaciones durante los 12 meses que dura el ciclo del cultivo. Esto concuerda con Orozco-Santos *et al.* (2008) quienes demostraron que el uso de densidades mayores a 3000 plantas/ha en plátano, reduce la incidencia de sigatoka e incrementa el rendimiento de fruta sin necesidad de hacer aplicaciones de fungicidas. Así mismo, señala que la reducción en la severidad de la sigatoka se atribuye al microclima que se crea dentro de la plantación a estas densidades, disminuyendo la humedad relativa y a su vez reduciendo el ingreso de agua y aire. Por otro lado, Rivas y Rosales (2004) también afirman esta teoría, en donde demuestran que el uso de densidades altas disminuye la severidad de la sigatoka en el plátano.

Peso promedio de racimo y número de dedos por racimo.

La frecuencia de aplicación, el producto y la interacción de los dos factores no tuvieron efecto en el peso promedio del racimo y en el número de dedos por racimo a las 52 SDS. Luego de la comparación entre *Reynoutria sachalinensis* y M-110, se procedió a comparar M-110 con los controles, donde M-110 no presentó diferencia en el peso promedio de racimo y en el número de dedos por racimo comparado a los controles a las 52 SDS (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto de M-110 y los controles en el peso promedio del racimo y número de dedos por racimo, a las 52 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.

Factores	Número de dedos	Peso promedio del racimo (kg)
	Semanas después de siembra	
	52 SDS	52 SDS
M-110	39.50	13.23
Sin aplicación	33.74	12.93
Control relativo	36.75	13.11
Probabilidad	NS	NS
Coefficiente de variación (%)	10.94	16.41

NS: no existe significancia ($P > 0.05$)

A pesar de que no hubo diferencia entre las variables asociadas a rendimiento y que hubo un aumento parcial de la incidencia de sigatoka en las plantas en todos los tratamientos, se encontró que el rendimiento obtenido fue de 45,308 kg/ha, a diferencia de los productores en Honduras que, con la misma variedad de plátano, en densidades similares y con tecnología parecida (3200-3508 plantas/ha), alcanzan rendimientos de 35,440 kg/ha (Medlicott y Lardizábal 2010). Esto puede deberse a que previo al inicio del experimento, la plantación tuvo un buen manejo de aplicaciones de fungicidas sistémicos y protectantes.

Además de esto la plantación recibió cantidades altas de nitrógeno, potasio y fósforo. Según Caballero (2010) las aplicaciones de estos macronutrientes son fundamentales para el rendimiento obtenido de la plantación. Los macronutrientes ayudan a la planta en la etapa de crecimiento y desarrollo, promoviendo la translocación carbohidratos y proteínas que le

permiten alcanzar un peso óptimo en el racimo. A su vez el potasio, ayuda a reducir incidencia de enfermedades foliares, porque ayuda a fortalecer las paredes celulares de la hoja.

Porcentaje de incidencia de enfermedad.

La frecuencia de aplicación, el producto y la interacción de los dos factores, no tuvieron efecto en el porcentaje de incidencia de enfermedad, a las 38, 42, 46 y 50 SDS. Posteriormente se realizó un análisis comparativo entre M-110 y los controles. M-110 no tuvo diferencia en el porcentaje de incidencia de enfermedad comparado a los controles a las 38, 42, 46 y 50 SDS (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de M-110 y controles relativos en el porcentaje de incidencia de enfermedad a las 38, 42, 46 y 50 semanas después de siembra (SDS) en Zamorano, Honduras.

Factores	Porcentaje de incidencia de enfermedad			
	Semanas después de siembra			
	38 SDS	42 SDS	46 SDS	50 SDS
M-110	16.78	24.79	30.00	33.63
Sin aplicación	17.08	21.25	28.33	39.79
Control relativo	20.41	25.83	30.00	35.41
Probabilidad	NS	NS	NS	NS
Coefficiente de variación (%)	25.73	14.26	13.25	11.83

NS: no existe significancia ($P > 0.05$)

Se ha demostrado que el uso de *Reynoutria sachalinensis*, aumenta significativamente la resistencia a mildiu (*Blumeria graminis*) en pepino por la producción de fitoalexinas de tipo flavonoides en la planta. Así mismo, se ha demostrado que *Reynoutria sachalinensis* funciona en el control de mildiu (*Uncinula necator*) en uva. Esto debido a que causa un aumento de peróxido de hidrógeno en la planta produciendo una reacción hipersensitiva en el hongo (Su *et al.* 2012). Sin embargo, en este experimento no hubo diferencia significativa entre los tratamientos en el porcentaje de incidencia de la enfermedad.

La investigación realizada por Guzmán (2012) en banano, demostró que el uso de productos inductores de peroxidasas aplicados de manera foliar, no alcanzan a desencadenar los mecanismos de hipersensibilidad contra la sigatoka. Esto se debe a que la planta si eleva la producción de peróxido hidrógeno, pero este hongo tiene un alto poder oxidativo, provocando que la disminución de la severidad de la enfermedad sea casi nula. Basado en lo anterior, se tomó en cuenta que sí *Reynoutria sachalinensis* hubiese elevado el peróxido de hidrógeno en la planta, probablemente no se hubiera observado ningún efecto significativo contra el porcentaje de incidencia de la enfermedad gracias al alto poder oxidativo del hongo.

Otra razón por la que se cree que no hubo una diferencia en la incidencia de la enfermedad, es debido a que el experimento empezó en la etapa post floración del cultivo. Es por esto que no hubo diferencia entre aplicar o no aplicar el producto después de floración en las condiciones en las que se desarrolló el experimento. Debido a la susceptibilidad que tiene esta variedad de plátano a la sigatoka, el experimento con los extractos debió empezarse a los dos meses después de la siembra.

La sigatoka empieza a atacar a la planta a la edad de un mes, desde que esta comienza a formar hojas funcionales (Ulloa 2015). El hongo tiene un estado asintomático que puede durar de tres a seis semanas (Cárdenas *et al.* 2017). En esta fase el hongo ya se está multiplicando, aunque no sea visible. Cuando el hongo es visible en la planta, ya está ocasionando un daño en la hoja. A las 38 SDS el hongo había ganado terreno y estaba en todos sus estados en la plantación. Con este tiempo de ventaja y debido a que las aplicaciones realizadas a las 38 y 50 SDS coincidieron con altas precipitaciones no fue posible observar diferencias en los tratamientos.

Análisis de *Reynoutria sachalinensis* y M-110 *in vitro*.

Se realizó un experimento *in vitro* para evaluar la inhibición en el crecimiento del tubo germinativo de las esporas y la inhibición en la germinación de las esporas del hongo *Mycosphaerella fijiensis* a concentraciones crecientes en partes por millón de los fungicidas orgánicos *Reynoutria sachalinensis* y M-110 (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Porcentajes de inhibición de crecimiento de los tubos germinativos de esporas de *Mycosphaerella fijiensis* a concentraciones crecientes de *Reynoutria sachalinensis* y M-110.

Producto	Porcentajes de inhibición en la germinación de ascosporas						EC 50
	0 ppm	0.01 ppm	0.1 ppm	1.0 ppm	10.0 ppm	100 ppm	
<i>R. sachalinensis</i>	0	47	36	48	49	41	>100
M-110	0	14	5	21	14	27	>100

Cuadro 8. Porcentajes de inhibición en la germinación de esporas de *Mycosphaerella fijiensis* a concentraciones crecientes de *Reynoutria sachalinensis* y M-110.

Producto	Porcentajes de inhibición en la germinación de ascosporas						EC 50
	0 ppm	0.01 ppm	0.1 ppm	1.0 ppm	10.0 ppm	100 ppm	
<i>R. sachalinensis</i>	0	20	12	20	16	16	>100
M-110	0	0	0	0	6	7	>100

Estudios previos han demostrado que el uso de extractos botánicos, inductores de fitoalexinas, de las familias Solanáceae y Euphorbiaceae, logran reducir el crecimiento del tubo germinativo y también sobre la germinación de las ascosporas de la sigatoka (Ospina 2007). Sin embargo, *Reynoutria sachalinensis* y M-110, no mostraron la suficiente actividad antifúngica sobre la población de *Mycosphaerella fijiensis* evaluada. A pesar de esto, se puede observar que a concentraciones de diez partes por millón (ppm) usando *Reynoutria sachalinensis*, el porcentaje de inhibición en el crecimiento del tubo germinativo fue de 49%, indicando que si hubo un efecto en el crecimiento del tubo germinativo, pero no lo suficiente para inhibirlo completamente (Cuadro 7). Contrario a esto se observó que ninguno de los dos productos mostró actividad antifúngica en la germinación de ascosporas de la sigatoka (Cuadro 8).

4. CONCLUSIÓN

- *Reynoutria sachalinensis* y M-110, en frecuencia de una a tres aplicaciones no mostraron ningún efecto en la incidencia de infección foliar de sigatoka negra ni en el rendimiento del plátano en las condiciones en las que se realizó el experimento a las 38 semanas después de siembra.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar aplicaciones de *Reynoutria sachalinensis* y M-110 en edades tempranas del cultivo.
- Evaluar aplicaciones de *Reynoutria sachalinensis* y M-110 con frecuencias mayores a tres aplicaciones, para observar si existe algún efecto positivo en la producción.
- Evaluar aplicaciones en conjunto de *Reynoutria sachalinensis* y M-110 en la temporada de época seca.
- Evaluar la necesidad de aplicación de fungicidas convencionales después de las 38 semanas después de siembra.

6. LITERATURA CITADA

- Aguirre S, Piraneque N, Menkivar J. 2012. Relación entre las propiedades edafoclimáticas y la incidencia de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en la zona bananera del Magdalena-Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 3(2):14-20. eng. DOI: <http://dx.doi.org/10.22490/21456453.970>
- 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, aplicando a la agricultura familiar. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia: FAO; [consultado 2018 jul 23]. <http://www.fao.org/docrep/019/as089s/as089s.pdf>.
- Caballero V. 2010. Evaluación de la producción de plátano de la variedad Curaré enano en función de dos épocas de siembra y tres programas de fertilización en Zamorano, Honduras [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 21 p.
- Cárdenas J, Zapata S, Sánchez J. 2017. Análisis productivo de plátano en alta densidad y su relación con la precipitación en Urabá. *Revista Politécnica*; [consultado 2018 jul 15]. 13(24):27-35. <http://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/1088/906>.
- Daayf F, Schmitt A, Belanger R. 1997. Evidence of phytoalexins in cucumber leaves infected with powdery mildew following treatment with leaf extracts of *Reynoutria sachalinensis*. *Plant Physiology* 113(3): 719-727.
- Fagiani M, Tapia A. 2007. El cultivo del banano “prácticas de manejo” [internet]. El tabacal – Salta: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). [Consultado 2018 jul 17]. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-banano-manejo_.pdf.
- FAO. 2004. La economía mundial del plátano. [Internet]. Roma: Servicio de materias primas, productos tropicales y hortícolas. [Consultado 2017 agosto 14]. <http://www.fao.org/docrep/007/y5102s/y5102s04.htm>.
- García R, Pérez R. 2003. Fitoalexinas: Mecanismo de defensa de las plantas. [Consultado 2018 jul 14] *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 9(1):5-10. <https://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchscfaIX383.pdf>.
- Guzmán M. 2012. Control biológico y cultural de la sigatoka-negra. *Tropical Plant Pathology*. 37(47):2-4. DOI: 10.13140/2.1.2927.7442.

- Huete M. 2017. Cultivo del plátano. Fruticultura y cultivos perennes. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Septiembre-Noviembre. Honduras.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2012. Manejo fitosanitario del cultivo del plátano (*Musa spp.*) Medidas para la temporada invernal [Internet]. Bogotá: ICA. [Consultado 2017 abr 03]. <https://www.ica.gov.co/getattachment/08fbb48d-a985-4f96-9889-0e66a461aa8b/-nbsp;Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-platano.aspx>.
- Lafargue P. 2015. Propuesta de un modelo matemático para la predicción del efecto de aplicación por inyección de bioestimulantes y fertilización avanzada al sistema vascular en el cultivo de plátano barraganete (*Musa paradisiaca* ABB) [Tesis]. Facultad de Ingeniería y Ciencia Agropecuaria, Colombia. 99 p.
- MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural). 2014. Cadena de plátano [Internet]. Bogotá: MADR [Consultado 2017 agosto 14].
- Marín O, Mass J, Barrera L, Robles J. 2009. Evaluación de extractos vegetales para el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plátano en Tierralta – Córdoba. Temas Agrarios. 13(1):25 – 31. DOI: <https://doi.org/10.21897/rta.v13i1.661>.
- Medlicott A, Lardizabal R. 2010. Compendio de boletines técnicos para el sector hortícola de alto valor. Honduras: MCA-H/EDA; [consultado 2018 jun 31]. http://www.agronegocioshonduras.org/wpcontent/uploads/2014/06/Compendio_de_boletine_%20tecnicos.pdf.
- MIFIC (Ministerio de Fomento, Industria y Comercio). 2007. Ficha del Plátano [Internet]. Managua: MIFIC. Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional. [Consultado 2017 may 04]. <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01N583.pdf>.
- Orozco-Santos M, Orozco-Romero J, Pérez O, Manzo G, Farias J, da Silva W. 2008. Prácticas culturales para el manejo de la sigatoka negra en bananos y plátanos. Tropical Plant pathology. [Consultado 2018 jul 15]; 33(3): 190-191. <http://www.scielo.br/pdf/tpp/v33n3/a03v33n3.pdf>.
- Ospina J. 2007. Determinación de la actividad anti fúngica in vitro de extractos vegetales sobre el hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet [Tesis]. Universidad tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología, Escuela de Tecnología Química, Pereira – Risalda. 42 p.
- Pérez L, Hernández A, Hernández L, Pérez M. 2002. Effect of trifloxystrobin and azoxystrobin on the control of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on banana and plantain [Internet]. Crop Protection. Cuba: Instituto de Investigación de Sanidad Vegetal (INISAV), Ministerio de Agricultura de Cuba. [Consultado 2017 noviembre 24]. DOI: 10.1016/S0261-2194(01)00055-2.

- Ravi I, Mohamed M. 2013. Impact, adaptation and mitigation strategies for climate resilient banana production [Tesis]. Crop Production, National Research Centre for Banana (ICAR), Tiruchirapalli, Tamil Nadu, India. 50 p.
- Restrepo J. 2015. Efecto de la aplicación de cuatro dosis de potasio en el rendimiento de banano, en suelo con alto contenido de potasio, subsolado y no subsolado [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano-Honduras. 10 p.
- Rivas G, Rosales F. 2004. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos. Actas del Taller” Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas”. INIBAP. 55-62 p.
- Rodríguez R, Echeverría L, Torres F. 2010. Evaluación en campo del inductor de fitoalexinas PF-5 en el control de Sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en banano *Musa acuminata* AAA. ACORBAT. 10(10):447-562. DOI: 10.13140/RG.2.1.2546.0569.
- Rodríguez R, Echeverría F, Torres F. 2011. Congreso Nacional de Fitopatología Colombiana. Instituto de Química, Grupo de Química Orgánica de Productos Naturales1-15. DOI: 10.13140/RG.2.1.1546.6320.
- Su H, Blair R, Johnson T, Marrone P. 2012. Regalia® Bioprotectant in planta disease management. Marrone Bio Innovations, Inc., Davis, California, 95618, USA, describe the modes of action and biological efficacy of this new biological fungicide/bactericide. 23(2):30-34. DOI: <https://doi.org/10.1564/23feb09>
- Suárez C, Delgado R, Belezaca C. 2003. Eficiencia de fungicidas biológicos y bioestimulantes para *Mycosphaerella fijiensis* morelet (sigatoka negra) barraganete común (*Musa* AAB). Latacunga. [Consultado 2017 nov 12]. https://www.researchgate.net/publication/236213823_Eficiencia_de_fungicidas_biologicos_y_bioestimulantes_para_el_control_de_Mycosphaerella_fijiensis_Morelet_Sigatoka_Negra_en_platano_Barraganete_Comun_Musa_AAB.
- Torres J, Rodríguez H, Rodríguez E, Arango R. 2009. Aspectos bioquímicos de la resistencia del banano (*Musa acuminata*) al ataque del hongo *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. Revista Tumbaga [Consultado 2018 Jul 20]; 4:85-96 https://www.researchgate.net/publication/277274947_Aspectos_bioquimicos_de_la_resistencia_del_banano_Musa_acuminata_al_ataque_del_hongo_Mycosphaerella_fijiensis_Morelet.
- Ulloa S. 2015. Manual para el cultivo de plátano exportación. GIAT, ESPE. 61 p. DOI: 10.13140/2.1.1337.4243

- Vázquez R, Hernández I, Tzec M, Chí B, Islas I, Martínez L, Hernández E, Garrido E, Canto B. 2012. Presencia de *Mycosphaerella fijiensis*, agente causal de la Sigatoka negra, en desechos vegetales en las plantaciones. Innovaciones para el manejo integrado en campo de la Sigatoka negra en México. Aportaciones de la investigación básica. [Internet]. México: Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C; [actualizado 2015 mayo 20; consultado 2018 jul 20]. https://www.researchgate.net/publication/236737652_Presencia_de_Mycosphaerella_fijiensis_agente_causal_de_la_Sigatoka_negra_en_desechos_vegetales_en_las_plantaciones_Identificacion_de_reservorios
- Villalta R, Guzmán M. 2004. Efecto de aspersiones foliares de ácido etanoperóxido y peróxido de hidrógeno para el combate de la sigatoka negra en banano (*Musa AAA*). CORBANA S.A. [consultado 2018 jul 18]; 30(57): 11-27. https://www.researchgate.net/publication/279180311_Efecto_de_aspersiones_foliares_de_ácido_etanoperóxido_y_peróxido_de_hidrógeno_para_el_combate_de_la_sigatoka_negra_en_banano_Musa_AAA.