ESTRATEGIAS BIOLÓGICAS PARA EL MANEJO DE LA SIGATOKA (Mycosphaerella fijiensis M.) EN CULTIVO DE PLÁTANO (Musa paradisiaca L.) AAB EN RIVAS, NICARAGUA

Revista Colegiada de Ciencia
CENTRO REGIONAL UNIVERSITARIO DE VERAGUAS
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
https://revistas.up.ac.pa/index.php/revcolciencia

Biological strategies for the management of Sigatoka (Mycosphaerella fijiensis M.) in plantain cultivation (Musa paradisiaca L.) AAB in Rivas, Nicaragua

Castillo-Arévalo, Trinidad

Trinidad Castillo-Arévalo
trindad.castillo@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

Revista Colegiada de Ciencia
Universidad de Panamá, Panamá
ISSN-e: 2710-7434
Periodicidad: Semestral
vol. 4, núm. 1, 2022
revcolciencias@up.ac.pa

Recepción: 07 Julio 2022
Aprobación: 27 Agosto 2022

URL: http://portal.amelica.org/ameli/journal/334/3343527010/

Resumen: Sigatoka negra es la enfermedad producida por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*; es el patógeno de mayor prevalencia destructiva de las musáceas en todas las regiones del planeta que se siembra. En la actualidad no existe otro método más efectivo que las aplicaciones de pesticidas para su total control, esto ha provocado contaminación en las fuentes de agua y salud humana, por lo que se han implementado técnicas de control biológico. En esta investigación se evaluó el desempeño de *Trichoderma sp* y *Bacillus subtilis*, una mezcla de los dos, y el producto químico NATIVO® SC 300 para el manejo de la Sigatoka negra en el municipio de Tola, Rivas. En relación con el control de la enfermedad, el bioformulado que presentó los mejores resultados fue la mezcla base de *Trichoderma sp* más *Bacillus subtilis* con un 30.26% de severidad, seguido por la formulación de Trichoderma sp con un 34.45% y el control químico NATIVO® SC 300 con 36.09% de severidad, sin presentar diferencias significativas con los controles químico y biológico. El patógeno fue identificado en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria (UNA). Las variables evaluadas en este estudio fueron porcentaje de incidencia, severidad y área bajo la curva de progreso de la enfermedad de daño de Sigatoka por planta.

Palabras clave: Formulaciones biológicas, *Mycosphaerella fijiensis*, control biológico, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* sp., Musa Spp..

Abstract: Black Sigatoka is the disease caused by the fungus *Mycosphaerella fijiensis*, it is the most prevalent and destructive pathogen of musaceae in all regions of the planet where it is planted. At present, there is no other method more effective than the applications of pesticides for their total control, this has caused contamination in water sources and human health, for which biological control techniques have been implemented, in this investigation the performance was evaluated. of *Trichoderma sp* and *Bacillus subtilis*, a mixture of the two and the chemical product NATIVO® SC 300 for the management of black Sigatoka in the municipality of Tola, Rivas. In relation to disease control, the bioformulated that presented the best results was the base mixture of *Trichoderma*

sp plus *Bacillus* subtilis with 30.26% severity, followed by the formulation of *Trichoderma* sp with 34.45% and the chemical control NATIVO® SC 300 with 36.09% severity, without significant differences with the chemical and biological controls. The pathogen was identified in the laboratories of the National Agrarian University (UNA). The variables evaluated in this study were incidence percentage, severity and area under the progress curve of the Sigatoka damage disease per plant.

Keywords: Biological formulations, *Mycosphaerella fijiensis*, biological control, *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* sp., Musa Spp..

INTRODUCCIÓN

El plátano es un rubro de mucha importancia económica por los ingresos que generas sus exportaciones a nivel mundial. Es producido en todo el globo y es alimento primordial para un sinnúmero de personas en el planeta (Frison y Sharrock, 1999). En lo referente a productividad, representa uno de los primeros frutos de exportación y en materia económica ocupa el segundo lugar, a continuación de los cítricos, según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017).

Sigatoka negra es la epifitia con mayor índice de agresividad en las plantaciones de musáceas del planeta. Esta provoca grandes daños en la biomasa de la planta mermando la producción cuando no se ejercen estrategias para su control (Arias, 2003; Marín et al., 2003). En el Departamento de Rivas se han reportado reducciones de hasta un 60% en el peso del racimo en plantaciones donde no se le controla (Asociación de Plataneros de Rivas [APLARI], 2013).

El método curativo más efectivo para controlar el patógeno es el realizado con pesticidas sistémicos, el cual provoca contaminación ambiental en las parcelas establecidas (Astorga, 1999; Vindas et al., 2004)

En la actualidad, la mejor técnica de sanidad de la enfermedad es mediante el método de control con pesticidas, realizándose hasta 40 aspersiones de saneamiento en el primer ciclo, lo que significa del tres cuartos del precio de producción, causando genes de resistencia del patógeno ante los productos fúngicos (Sagder, 1995). Estos pesticidas están fabricados para aplicarse cada siete, catorce y veintiún días para romper el ciclo del hongo, lo que significa hasta 50 aplicaciones en la generación madre (Chica et al., 2004).

La contaminación ambiental es resultado del uso indiscriminado de pesticidas agrícolas, sus trazas en el manto friático, capa arable del suelo y condensación causa la muerte de muchos animales, además es la causa de enfermedades crónicas en humanos y a pasar de todos estos daños no se logra controlar la enfermedad satisfactoriamente (Michel, 2001).

Por otra parte, el mal uso de insumos de efecto fungicida ha provocado resistencia en el patógeno, causando un aumento de la enfermedad en el tiempo, desarrollando el progreso de la epifitia, disminuyendo los índices de producción y aumentando los costos de cosecha (Marín et al., 2003).

La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, 2013) reportó dos rechazos de plátano fresco, de Rivas, por residuos de plaguicidas, con destino a Costa Rica. De igual manera, en el año 2019, reportó nuevamente rechazo de plátano con presencia de residuos que iban con destino a Costa Rica. Todo esto, más la exigencia de medidas de control ambientalmente seguras, evidencian la necesidad de investigar e implementar estrategias de manejo sostenible como el control biológico. Actualmente se han reportado microorganismos que ejercen un control sobre el crecimiento de M. fijiensis y el desarrollo de la Sigatoka negra a escala de laboratorio, en invernadero y campo (Nadal-Medina et al., 2009,Osorio, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la finca la Granja de la familia Pérez, ubicada en el municipio de Tola, Rivas, de febrero a junio del 2017.

En el experimento se evaluaron cinco tratamientos, uno de ellos es el testigo, también *Trichoderma sp* y *Bacillus subtilis*, una mezcla de los dos y el producto químico NATIVO® SC 300, y el testigo sin ningún tipo de aplicación. Las dosis evaluadas fueron vía foliar cada treinta días por cinco meses.

TABLA 1
Tratamientos.

Producto Comercial	Principio Activo	Organismo	Dosis/ Ha	# Tratamiento
Cepas UNA	Trichoderma sp	Biológico	250 grs	T1
Cepas INTA	Bacillus subtilis	Biológico	250 grs	T2
NATIVO® SC 300	Trifloxystrobin + Tebuconazole	Químico	150 grs	T3
Cepas UNA e INTA	Trichoderma sp + Bacillus subtilis	Biológico	250 grs + 250 grs	T4
Absoluto	Sin Aplicación			T0

Selección de la muestra

La selección de la muestra se realizó mediante la fórmula de cálculo de muestra con población finita propuesta por Münch y Ángeles (1990), la cual se utiliza cuando se conoce el dato del universo o total de las unidades en estudio.

$$n = \frac{n\,N * z2\,p * q}{(N-1)\,e2 + z2 * p * q}$$

Donde:
n = Tamaño de la muestra
N = Población universo
Z = Nivel de confiabilidad del 95%
P = Estimación proporcional de la población
Q = (1-P)
E = Error estándar de la muestra, 5% (0.05)

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental con distribución de Bloques Completamente al Azar (BCA), con 4 repeticiones de cada tratamiento, cada bloque tuvo 5 unidades experimentales, para un área de 783.2 m² por bloque.

La unidad experimental tenía un largo de 71.2 m, un ancho de 65.33 m.

La distancia entre cada unidad experimental era de 10.3 m, la distancia entre bloques es de 16.16 m y el área experimental una ronda de 6.4 m de ancho y 9.13 m de largo en el perímetro, establecida en un área comercial.

Evaluación de Sigatoka

Incidencia

Para determinar el porcentaje de incidencia de enfermedades se utilizó la siguiente fórmula:

$$Incidencia\ (\%) = \frac{número\ de\ hojas\ muestreadas\ con\ sintomas}{Total\ de\ hojas\ muestreados}\ x\ 100$$

Severidad

Con el fin de facilitar la realización de este estudio, se utilizó una escala para medir el nivel de daño foliar en plátano. Esta escala consistió en la estimación visual del porcentaje afectado de hojas para obtener el grado porcentual de severidad se utilizó la fórmula general planteada por Vanderplank (1968).

$$S(\%) = \frac{\sum i}{N(Vmax)}\ x\ 100$$

Donde:
S = Porcentaje de severidad
∑i = Sumatoria de valores observados
N = Número de plantas muestreadas
Vmax = Valor máximo de la escala

Cálculo del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) para Sigatoka

Con los registros de severidad por tratamiento se calculó el Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) para Sigatoka negra. La fórmula utilizada fue la propuesta po r Shaner y Finney (1977).

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{X_{i+1} + X_i}{2}\right](t_{i+1} - t_i)$$

Donde:
x_i = Porcentaje de tejido afectado
t = Tiempo (días)
n = número de evaluaciones

Análisis estadístico de los datos

Después de colectados los datos, estos fueron arreglados por variables en una tabla de datos en Excel, luego cada variable fue comparada entre tratamientos, efectuando un análisis de varianza, utilizando el programa de InfoStat (2020). El nivel de significancia usado en el análisis fue de ($p = 0.05$).

RESULTADOS

TABLA 2.
Evaluación del efecto de las bioformulaciones sobre Sigatoka

	% Incidencia Sigatoka	% Severidad Sigatoka
Tratamiento	Media ± ES	Media ± ES
Trichoderma sp	25.52±1.87 a	34.45±2.36 ab
Bacillus subtilis	30.25±1.87 a	38.93±2.36 a b
NATIVO® SC 300	25.31±1.87 a	36.09±.36 ab
Trichoderma sp + Bacillus subtilis	30.25±1.87 a	30.26±2.36 a
Testigo	42.37±1.87 b	52.30±2.36 c
C.V.	28.97	28.82
p-valor	0.0001	0.0001
F; df; n	16.42; 19; 20	12.60; 19; 20

Nota. ES=Error estándar; DS=Diferencia Significativa; C.V.=Coeficiente de Variación; p=Probabilidad; F=Fisher calculado; df=Grados de libertad del error; n=Número de datos utilizados en el análisis. *Medias con letras distintas: existe diferencias significativas.

Comparación del promedio de incidencia de Sigatoka

En el análisis de la varianza, se encontró diferencia significativa (p=≤0.05). De manera general, se observa que el tratamiento químico tuvo mejor control sobre la enfermedad con (25.31%), seguido por el tratamiento de *Trichoderma* (25.52%); continuando *Trichoderma sp + Bacillus subtilis* (30.25) y el Testigo (42.37%).

Comparación del promedio de severidad de Sigatoka.

En el análisis de la varianza se encontró diferencia significativa (p=≤0.05). De manera general, se observa que el tratamiento *Trichoderma sp + Bacillus subtilis* tuvo mejor control sobre la enfermedad con (30.26%), seguido por el tratamiento de *Trichoderma* (34.45%); luego el tratamiento químico (36.09%), continuando *Bacillus subtilis* (38.93) y el Testigo (52.30%) de severidad.

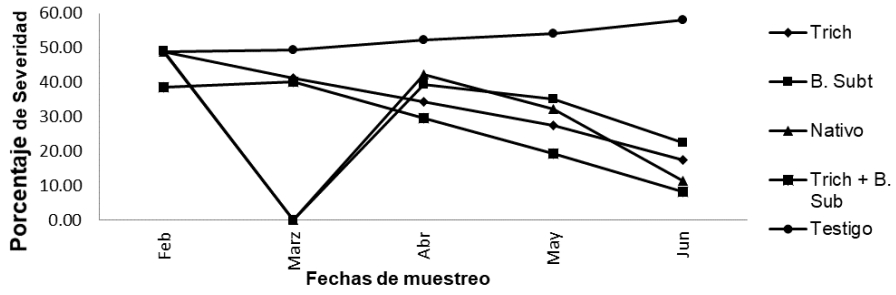

FIGURA I
Porcentaje de Severidad de Sigatoka

Comparación del porcentaje de severidad de Sigatoka

La epifitia se presentó entre febrero a junio 2017. Se observa que la severidad de este agente causal reflejó un comportamiento similar en los tratamientos biológicos y químico, a excepción del testigo que aumentó significativamente de 47.7% a 58.15% en un lapso de 120 días. Con un r=0.26 % (día^{-1}).

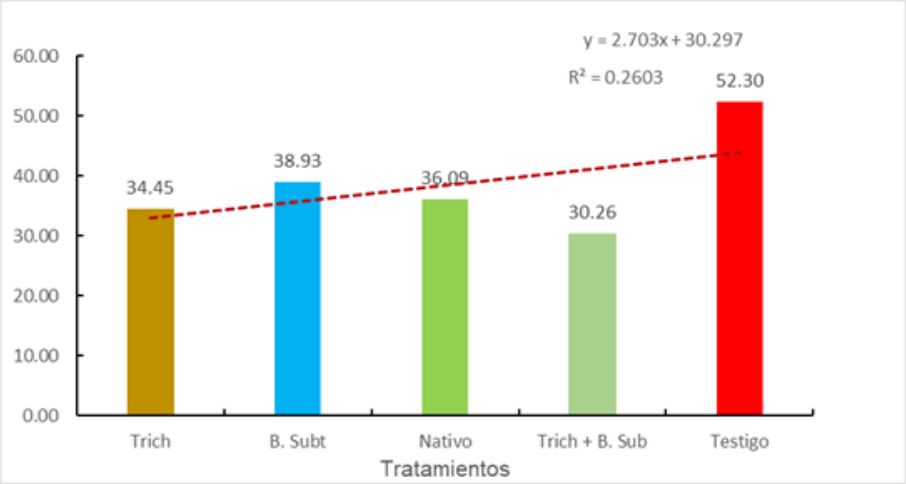

FIGURA 2
ABCE Sigatoka

Comparación del Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de Sigatoka

La mayor área bajo la curva se presentó en el Testigo, seguido por la mezcla biológica de *Trichoderma sp* + *Bacillus subtilis*, luego por el tratamiento químico, en segundo lugar, *Bacillus subtilis* y con menor área *Trichoderma*, esto significa que el uso de Hipocreales favorece el parasitismo sobre el patógeno.

DISCUSIÓN

Estudios realizados por Gutiérrez (2011) en su investigación obtuvieron iguales resultados que este estudio con (36.3%). Sundin y Jacobs (1999), en su estudio la formulación de *B. subtilis*, presentó el mejor desempeño en la prueba, siendo igual que en esta investigación.

Según estudios realizados por Parets (2002), en diferentes cultivos entre ellos el tabaco (*Nicotiana tabacum L.*) y la papa (*Solanum tuberosum* L.) Encontró resultados satisfactorios en el estímulo del crecimiento, con la aplicación de *Trichoderma sp*. Según estudios realizados por Castro (2015) la formulación líquida del bioproducto de *T. harzianum* cepa CCCh-p1, aplicada sobre hojas de plantas de banano cv. 'Williams' produjo un efecto estimulante en la fase de crecimiento vegetativo de las plantas.

Según Kejela et al. (2016) en investigaciones desarrolladas con *Bacillus* sp reduce la prevalencia de *Colletotrichum gloeosporoides y F. oxysporum* en plantaciones de vivero de café (*Coffea arabica* L.) hasta en 100% de efectividad con severidad hasta del 90%

Según Tejera et al (2011), el género *Bacillus* genera ventajas para su utilización en la Biotecnología Agrícola como son la presencia de endosporas, la motilidad que le facilita la colonización de la planta, la capacidad de producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal, y de sustancias responsables de su actividad. Acosta et al (2013) encontró acción antagonista sobre Sigatoka al igual que en los resultados de esta investigación.

Fonseca (2020) en su estudio encontró que la enfermedad avanzó más rápido en comparación con los otros tratamientos donde se observó una tasa de incremento de la enfermedad de $r = 0.02$ (2% día-1) de la misma manera que esta investigación.

Grice y Peterson (2002) indican que, en los tratamientos sin aplicación de fungicidas, el porcentaje de incremento de la enfermedad coincide con los resultados de esta investigación.

Pérez et al (2000) en su estudio determinaron que los mayores valores de severidad de Sigatoka acumuladas fueron obtenidos en los meses de lluvia con porcentajes entre 36.3 % y 59.8 %, no coincidiendo con este estudio, pues se presentó en meses de época seca, por causa a la humedad relativa del departamento de Rivas.

Cuéllar et al (2011), en su investigación encontraron que el ABCPE se comporta de manera similar que en este estudio. A la vez Carlier et al (2000), en su estudio muestran que el comportamiento del ABCPE asciende en condiciones de humedad relativa, lo que discrepa de esta investigación, porque el área aumentó en meses secos y con ausencia de aplicaciones.

CONCLUSIONES

Se identificó Mycosphaerella como el principal agente patógeno de enfermedades asociadas a ese cultivo en Rivas, Nicaragua.

Se encontró que la prevalencia y crecimiento de la enfermedad ocurrió en época seca, no sólo en época lluviosa en el departamento de Rivas.

Con los resultados de este estudio se demuestra que el uso de organismos biológicos para controlar la enfermedad es igual de efectiva que los químicos y más seguro para el medio ambiente y salud pública.

Se demuestra que el crecimiento del patógeno presenta un avance de 0.26 % (día-1), en el departamento de Rivas, en época seca.

De los tratamientos biológicos, el bioformulado *Trichoderma sp* + *Bacillus subtilis* es la mejor opción de manejo para controlar la epifitia, seguido del hongo entomopatógeno *Trichoderma*.

Agradecimientos

El autor de esta investigación agradece a la empresa D'La granja, por la financiación económica de este estudio, y a la Universidad Nacional Agraria (UNA) por realizar análisis de laboratorio para identificación del patógeno.

REFERENCIAS

Acosta, M., Pichardo, T., Roque, B., Cruz, M., Mena, E., Leiva, M. y Alvarado, Y. (2013). Antagonismo in vitro de *Trichoderma harzianum* Rifai contra Mycosphaerella fijiensis Morelet. *Biotecnologia Vegetal, 13*(4). https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/124/481

Asociación de Plataneros de Rivas. (2013). *Conglomerado del plátano en Nicaragua*.

Arias, P. (2003). *The World Banana Economy, 1985-2002*. FAO.

Astorga, Y. (1999). *Manejo de cultivos orgánicos de banano (según el proyecto de cultivo alternativo de la ATC en Filipinas).* Echos du Cota.

Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos. (2013*). Introduction to FDA´s import refusal report (IRR).*https://www.accessdata.fda.gov/scripts/importrefusals/

Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos. (2019). *Introduction to FDA´s import refusal report (IRR).*https://www.accessdata.fda.gov/scripts/importrefusals/

Carlier, J., Fouré, E., Gauhl, F., Jones D. R., Lepoivre, P., Mourichon, X., asberggauhl, C. y Romero, R. A. (2000). Black leaf streak. En D.R Jones (Ed.), *Diseases of Banana, Abacá and Enset* (pp. 37-79). CAB International.

Cuéllar, A., Álvarez, E., y Castaño, J. (2011). Evaluación de Resistencia de Genotipos de Plátano y Banano a la Sigatoka Negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet.). *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*, 64(1), 5853-5865. https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/26392

Chica, R., Patiño, L., Herrera, H., Jiménez, I., Lizcano, S. y Montoya, J. A. (2004). *Impacto y manejo de la Sigatoka Negra en el cultivo del banano de exportación en Colombia* [sesión de conferencia]. XVI Reunión Internacional Asociación para la Cooperación en Investigaciones de Bananos en el Caribe y la América Latina (ACORBAT), Oaxaca. https://www.musalit.org/viewPdf.php?file=IN050659_spa.pdf&id=9609

Fonseca Méndez, A. M. (2020). *Eficacia de dos fungicidas biológicos y un fungicida sintético sobre el progreso temporal de enfermedades foliares en maní (Arachis hypogaea L.), Chinandega 2019* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional UNA. https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/4221

Frison, E. A., y Sharrock, S. L. (1999). The economic, social and nutritional importance of bananas in the world. En Picq, E. Fouré y E.A. Frison (eds.), *Banana and food security* (pp. 21-35). https://agritrop.cirad.fr/300693/1/ID300693.pdf

Gutiérrez Monsalve, J. A. (2011). *Evaluación de factores ambientales simulados sobre el desempeño de formulados de Bacillus subtilis EA-CB0015 y su potencial como controlador biológico de la Sigatoka negra* [Tesis de grado, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional Universidad EAFIT. http://hdl.handle.net/10784/8221

Kejela, T., Thakkar, V., y Parth, T. (2016). Bacillus species (BT42) isolated from Coffea arabica L. rhizosphere antagonizes Colletotrichum gloeosporioides and Fusarium oxysporum and exhibits multiple plant growth promoting activit. *BMC Microbiol, 16*(277). https://doi.org/10.1186/s12866-016-0897-y

Marín, D. H., Romero, R. A., Guzman, M. y Sutton, T. B. (2003). Black Sigatoka: an increasing threat to banana cultivation. *Plant disease, 87*(3), 208-222. https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.3.208

Michel, A. (2001). *Cepas nativas de Trichoderma spp., (Euascomicetes: Hypocreales), su Antibiosis y Micoparasitismo sobre Fusarium subglutinans y F.oxysporum (Hyphomycetes: Hyphales)* [Tesis doctoral, Universidad de Colima].

Münch, L. y Ángeles, E. (1990). *Métodos y técnicas de investigación*. Trillas.

Nadal-Medina, R., Manzo-Sánchez, G., Orozco-Romero, J., Orozco-Santos, M., y Guzmán-González, S. (2009). Diversidad genética de bananos y plátanos (Musa spp.) determinada mediante marcadores RAPD. *Revista fitotecnia mexicana, 32*(1), 01-07. http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v32n1/v32n1a1.pdf

Osorio Salamanca, G. P. (2006). Evaluación de hongos endofíticos y extractos botánicos para el control de la Sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet) en banano [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio CATIE. https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5095

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *Global programme on banana Fusarium wilt disease: Protecting banana production from the disease with focus on tropical race 4* (TR4). http://www.fao.org/3/a-i7921e.pdf

Parets, S. E. (2002). *Evaluación agronómica de la coinoculación de micorrizas arbusculares, Rhizobium phaseoli y Trichoderma harzianum en el cultivo de fríjol común (Phaseolus vulgaris L.)* [Tesis de maestría, Universidad Agraria de La Habana].

Pérez, L., Mauri, F., Hernández, A., Abreu, E. Y. y Porras, A. (2000). Epidemiología de la sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet) en Cuba. Pronóstico bioclimático de los tratamientos en bananos (Musa acuminata AAA). *Revista Mexicana de fitopatología, 18*(1), 15-26. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61218103

Sagder, J. (1995). *Manual Operativo para el Control de la Sigatoka Negra del plátano Mycosphaerella fijiensis Morelet en México*.

Shaner, G., y Finney, R. (1977). The effect of Nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology*, (67), 1051-1056. https://www.doi.org/10.1094/Phyto-67-1051

Sundin, G. W., y Jacobs, J. L. (1999). Ultraviolet radiation (UVR) sensitivity analysis and UVR survival strategies of a bacterial community from the phyllosphere of field-grown peanut (Arachis hypogeae L.). *Microbial ecology, 38*(1), 27-38. https://www.jstor.org/stable/4251656

Tejera-Hernández, B., Rojas-Badía, M. M., y Heydrich-Pérez, M. (2011). Potencialidades del género Bacillus en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 42*(3), 131-138.

Vanderplank, J. E. (1968). *Disease Resistance Plants*. Academic Press

Vindas, R., Ortiz, F., Ramírez, V. y Cuenca, P. (2004). Genotoxicidad de tres plaguicidas utilizados en la actividad bananera de Costa Rica. *Revista de biología tropical, 52*(3), 601-609. http://doi.org/10.15517/rbt.v1i2.15343