

VIABILIDAD DE BACTERIAS BENÉFICAS PARA EL CONTROL DE *Mycosphaerella fijiensis* Y DESARROLLO DE PLANTAS DE BANANO

Viability of beneficial bacteria for the control of *Mycosphaerella fijiensis* and development of banana plants

Iris Esther Marcano¹, César Antonio Díaz-Alcántara², Ángel Radhámes Pimentel Pujols³,
Ángel Felipe Vicioso Alcalá⁴, Pedro Antonio Núñez Ramos⁵

RESUMEN

La producción de banana orgánico es afectada por diversas enfermedades, siendo la Sigatoka negra (SN) (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) una de las más importantes, ya que reduce el área funcional foliar y la producción se ve disminuida. Las alternativas orgánicas para contrarrestar los efectos de la enfermedad son escasas, lo que lleva a pérdida de la calidad del fruto para exportación. Una alternativa orgánica para la disminución de esta enfermedad es el uso de bacterias autóctonas promotoras de crecimiento vegetal (PGPRs). Esta investigación tuvo como propósito analizar la viabilidad de inocular bacterias PGPRs en el control de SN en banana orgánico, en Esperanza, Valverde, República Dominicana. Para lograr el objetivo planteado se estableció en campo una parcela experimental con diseño de bloques completos al azar, donde se evaluaron tres tratamientos con bacterias PGPRs: DARA (*Bacillus licheniformis*), MAM21 (*Pseudomonas plecoglossicida*), MOSY (*P. plecoglossicida*) y un testigo sin bacterias. Cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones, con un marco de plantación 2x2 m. con un área útil de 10 plantas por tratamientos para la toma de datos. Cada planta fue inoculada con 20 cc del inóculo a una concentración aproximada de 6×10^8 unidades formadoras de colonias por mililitros ($UFC \text{ m l}^{-1}$). Se realizaron labores culturales según los requerimientos del cultivo y el productor. Los resultados de las variables evaluadas para SN demostraron una disminución en la severidad de la enfermedad en los tres tratamientos con bacterias PGPRs, el tratamiento MOSY21 obtuvo mejores resultados, mostrando disminución de los efectos de la enfermedad; así, como en algunas variables indicadoras de desarrollo de las plantas y en variables relacionadas con productividad. Esta investigación evidenció que las PGPRs ayudan a las plantas, en su desarrollo, defenderse de enfermedades y productividad.

Palabras clave: inóculo, orgánico, PGPR, Sigatoka negra.

ABSTRACT

Organic banana production is affected by various diseases, with black Sigatoka (BS) (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) being one of the most important, as it reduces leaf functional area and decreases production. Organic alternatives to counteract the effects of the disease are scarce, leading to a loss of fruit quality for export. An organic alternative to reduce this disease is the use of native plant growth-promoting bacteria (PGPRs). The purpose of this research was to analyze the feasibility of inoculating PGPR bacteria to control BS in organic bananas in Esperanza, Valverde, Dominican Republic. To achieve this objective, an experimental field plot was established using a randomized complete block design, where three treatments with PGPR bacteria were evaluated: DARA (*Bacillus licheniformis*), MAM21 (*Pseudomonas plecoglossicida*), MOSY (*P. plecoglossicida*), and a control without bacteria. Each treatment had four replicates, with a 2x2 m planting frame with a useful area of 10 plants per treatment for data collection. Each plant was inoculated with 20 cc of inoculum at an approximate concentration of 6×10^8 colony-forming units per milliliter ($CFU \text{ m l}^{-1}$). Cultural tasks were carried out according to the requirements of the crop and the producer. The results of the variables evaluated for NS demonstrated a decrease in the severity of the disease in the three treatments with PGPR bacteria. The MOSY21 treatment obtained the best results, showing a decrease in the effects of the disease; as well as in some variables indicating plant development and in variables related to productivity. This research showed that PGPRs help plants, in their development, defend themselves against diseases and productivity.

Keywords: inoculum, organic, PGPR, black Sigatoka.

¹✉ Docente e investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, Centro de Tecnologías Agrícolas, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6464-7298>. imarcano80@uasd.edu.do

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5352-0038>. diazalcantaraesarantonio@gmail.com

³ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo. Centro de Tecnologías Agrícolas, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, República Dominicana. angelpimentel@gmail.com

⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana. fviciosoa@gmail.com

⁵ Docente e Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Investigador, República Dominicana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7580-7931>. pnunez25@uasd.edu.do

INTRODUCCIÓN

El banano orgánico es uno de los principales rubros agrícolas de exportación en la República Dominicana, que en su mayoría se destina al mercado internacional. Según Santamaría (2021), citando otros autores el país cuenta con unas 10 825 hectáreas (ha) de banano orgánico y esto representa aproximadamente el 90% de las exportaciones de la región del Caribe y el 55% en el mundo. Sin embargo, según FAO (2023), la subregión del caribe sufrió una reducción en las exportaciones en el año 2022 de un 9%. La humanidad va creciendo con un ritmo acelerado, este crecimiento obliga a los países a incrementar sus producciones y así poder satisfacer las necesidades alimentarias (Ramírez et al., 2020). Según Pérez et al. (2018), para el año 2050 se estima que la población será de aproximadamente 9.1 mil millones de habitantes. Para poder cumplir con las exigencias alimentaria se ha incurrido en la utilización de un alto contenido de fertilizantes de origen químico. Además, este tipo de agricultura demanda también, el uso de plaguicidas, laboreo excesivo del suelo, semillas mejoradas, entre otras, generando con esto una agricultura intensiva (Moreno et al., 2018).

El uso irracional de productos químicos, aplicado a los cultivos agrícolas ha generado un empobrecimiento de los suelos en cuanto a fertilidad (Moreno et al., 2018). Una alternativa que hoy en día se está implementando es el uso de aplicación de microorganismos benéficos, que proporcionen beneficios tanto a las plantas como al medio ambiente. Entre estos microorganismos se encuentran las Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal (PGPRs) (Singh, 2013; Emmanuel y Babalola, 2020; Santoyo et al., 2021).

Las bacterias PGPRs son diferentes bacterias benéficas que están asociadas a la rizosfera de las plantas y producen en ellas diferentes tipos de beneficios, entre los cuales están la mejora del desarrollo, disponibilidad y adsorción de nutrientes y ayudan con su absorción, entre otras características (Morales y Hernández, 2023; Sarkar et al., 2018). También estas bacterias ayudan a las plantas a protegerse de agentes patógenos. Estas características hacen de las bacterias PGPRs sean investigadas y no solo para el crecimiento de cultivos y biocontroladoras, sino también en la descontaminación de suelos y recuperación de ecosistemas (Benjumeda, 2017).

En esta investigación se utilizaron cepas bacterianas con características PGPRs con el propósito de analizar la viabilidad de la inoculación para el control del desarrollo del hongo *Mycosphaerella fijiensis* y la mejora en el desarrollo de las plantas y productividad de banano orgánico Esperanza, Valverde, República Dominicana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de investigación

El experimento de esta investigación se realizó en un área experimental de 0.256 ha, en la sección de Caño a 2 km, del municipio de Esperanza, provincia Valverde, República Dominicana, Línea Noroeste. Las coordenadas geográficas del área experimental fueron: 19.332823 N -70.591626 W. Los suelos de la finca son de textura franco arcilloso, pH de 7.8 en CaCl_2 , una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) de 24.20 meq 100 ml de suelo, y un 2.45% de materia orgánica. Según Núñez et al. (2025), citando otros autores dicen que, la zona de influencia de la investigación tiene una temperatura media anual de 27.3 °C. El clima es seco estepario caliente de baja pluviometría y precipitación media anual de 737.2 mm, con una altitud media de 78 m s.n.m.

Área y material experimental

El área de experimental fue sembrada el 24 enero del año 2020, con plantas de banano *in vitro*, de la variedad Cavendish (Gran enano). La finca es activa en producción de banano orgánico, perteneciente a Juan Domínguez. Las plantas de banano inoculó a base de bacterias PGPRs: MAM21 (*P. plecoglossicida*), DARA33 (*Bacillus licheniformis*) y MOSY21 (*P. plecoglossicida*), de una colección de cepas PGPRs (Marcano, 2014) y las plantas utilizadas fueron plantas de banano *in vitro* multiplicadas en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de la Universidad Autónoma de Santo Domingo.

El área de experimentación tuvo un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones, con un marco de plantación de 2 m * 2 m (4 m²) y fueron evaluadas 10 plantas por unidad experimental (40 plantas/tratamiento) para toma de datos. El factor de estudio del efecto de las bacterias PGPRs para el control de la Sigatoka negra en banano orgánico con la dosis formulada en medio de cultivo líquido de

Tryptic Soy Broth (TSB) a una concentración de aproximadamente 6×10^8 UFC ml⁻¹ a razón de 20 cc por plantas (Marcano, 2014; Marcano et al., 2024a y 2024b), se utilizó la misma concentración en UFC para todas las bacterias. Las bacterias PGPRs inoculadas

corresponden a cepas de colección identificadas y seleccionadas como promotoras del desarrollo y biocontroladores (Marcano, 2014) (Tabla 1). Además, se utilizaron equipos convencionales de campo como machete, azadas, palas y coa.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Código	Identificación	Propiedades PGPR <i>in vitro</i>	Procedencia
T1	MAM21	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	Productora de ACC desaminase, productora de sideróforos e inhibidora de crecimiento Sigatoka Negra	Ámbar provincia Mao Valverde
T2	DARA33	<i>Bacillus licheniformis</i>	Productora de sideróforos	Rabisal, Dajabón
T3	MOSY21	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	Soolubilizadora de fosfato e inhibidora de crecimiento Sigatoka Negra	Santa María provincia Montecristi
T4	Testigo	Sin aplicación de bacterias	-	-

Fuente: Marcano (2014).

Metodología

Las bacterias fueron aplicadas manualmente con jeringas de 20 cc por planta, alrededor de la zona radicular y directamente al suelo. Se midieron las variables evolución de la Sigatoka negra registrando en un formulario como el tiempo (semanas) desde la aparición de los primeros síntomas hasta el estado de mancha necrótica. Las variables evaluadas fueron: Correctivo Evolución (CE), Suma Bruta (SB) (es la suma de los síntomas por estadios de la enfermedad

en las hojas de las plantas), Suma Evolutiva (SEV), Estado Evolutivo (EE) con el objetivo de apreciar en el desarrollo la enfermedad, dichas variables fueron determinadas de acuerdo con las metodologías de Orjeda (1998) y Morales et al., 2011). El método usado para describir la evolución de la enfermedad fue el descrito por Stover, modificada por Gauhl (Orjeda, 1998; Morales et al., 2011), que describe el estado de la enfermedad de Sigatoka negra en las hojas de las plantas de banano, según el grado de sintomatología (Tabla 2).

Tabla 2. Estado evolutivo (EE) de la enfermedad de Sigatoka negra.

Estadios de la enfermedad	Síntomas
EE-1	Presenta pequeña mancha despigmentada, de color marrón, apenas visible en el envés.
EE-2	Presenta raya color café inicialmente visible en el envés, luego en el haz de color amarilla (pisca).
EE-3	Presenta raya alargada y ensanchada, color café oscuro o casi negro. Visible en el haz (estria), y pueden alcanzar hasta 2 cm de longitud.
EE-4	Mancha ovalada color café oscura en el envés y manchas negras en el haz.
EE-5	Mancha negra rodeadas en el anillo negro en haz y envés, el centro se deprime y se rodea de un halo amarillo (quema).
EE-6	Mancha con centro seco y hundido, toma un color gris (necrosis).

Fuente: Stover, modificada por Gauhl (Orjeda, 1998; Morales et al., 2011).

Para evaluar el desarrollo de las plantas se tomaron las variables: altura de la planta (cm), grosor de pseudotallo (cm), total de hojas y emisión foliar, estos datos fueron tomados cada semana del cultivo antes de la floración de las plantas. En la evaluación de la cosecha del banano se tomaron los siguientes parámetros: peso del racimo (Lb), grosor del dedo (mm), largo del dedo (pulgadas), número de manos, número de hojas al momento de la cosecha, semana de cosecha. Las cuales fueron medidas con cinta métrica y con un calibrador de banano.

Análisis de datos

Se realizaron análisis de varianzas para los factores cualitativos y variables de respuestas cuantitativas. A las fuentes de variación que resultaron significativas, se aplicó la prueba de Duncan para la separación de medias de tratamientos. Se utilizaron gráficas de barra para los factores cualitativos y variables cuantitativas, así como gráficas de series de tiempos para modelar el comportamiento de la enfermedad. Se utilizó análisis de componentes principales para establecer la relación

entre el conjunto de factores y variables en el estudio. Para el análisis de los datos, se utilizó el software estadístico Infostat versión 2016 (Di Rienzo et al., 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del desarrollo de Sigatoka negra

Los resultados obtenidos en la investigación para las variables estudiadas para el desarrollo de la

enfermedad de Sigatoka negra evidencian a través de análisis Test Duncan que el ritmo de emisión foliar no tiene diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 3). La variación observada se debió a las semanas de evaluación. En cuanto la variable correctivo evolutivo, las medias arrojan diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos con bacterias PGPRs, lo que demuestra que las bacterias controlan la evolución de la SN (Tabla 3).

Tabla 3. Valores promedios de ritmo foliar, correctivo evolutivo, suma bruta, severidad y estado evolutivo de la enfermedad Sigatoka negra (n = 20).

Tratamientos	Ritmo de emisión foliar (hojas/semana)	Correctivo volutivo (EE/semana)	Suma bruta (SB/semana)	Severidad de la enfermedad (SEV/semana)	Estado evolutivo (EE/semana)
Testigo	1.18 a	33.20 b	187 b	145.80 b	179.83 b
MAM21	1.14 a	16.45 a	81 a	68.20 a	79.05 a
MOSY21	1.20 a	18.80 a	101 a	84.60 a	94.28 a
DARA33	1.23 a	15.80 a	86 a	73.05 a	86.42
Error experimental	0.04	3.08	14.25	12.92	14.64

Medias con una letra común entre valores de una misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La prueba de Duncan establece diferencias significativas para la suma bruta de los tratamientos con bacterias en comparación con el tratamiento testigo (Tabla 3). En cuanto a la severidad causada por la enfermedad en los tratamientos, el análisis de Duncan muestra que los tratamientos con bacteria tienen diferencias significativas con respecto al testigo. No se evidencia diferencias entre los tratamientos con bacterias (Tabla 3).

En el estado evolutivo la prueba de Duncan en la Tabla 3, muestra los tratamientos con bacteria con evidencia significativa con el testigo, no existiendo diferencias entre los tratamientos. Las evaluaciones semanales de

las plantas de banano en el ensayo muestran un estado evolutivo para todos los tratamientos, evidenciándose que los que tienen aplicación de bacterias PGPRs, se mantienen por debajo del testigo, destacando que en algunas semanas no hubo desarrollo de la enfermedad siendo el valor igual a cero (Figura 1). El estado evolutivo de la enfermedad SN depende mucho de las condiciones climáticas y el municipio de Esperanza, de acuerdo con la es.climate-data.org, el clima no tuvo mucha variación entre el año 1991 y 2020. La temperatura media anual fue de 25.37 °C, con una mínima de 21.11 °C y máxima 30.89 °C; una precipitación de media anual de 707 milímetro (mm) y una humedad relativa media anual de 69%.

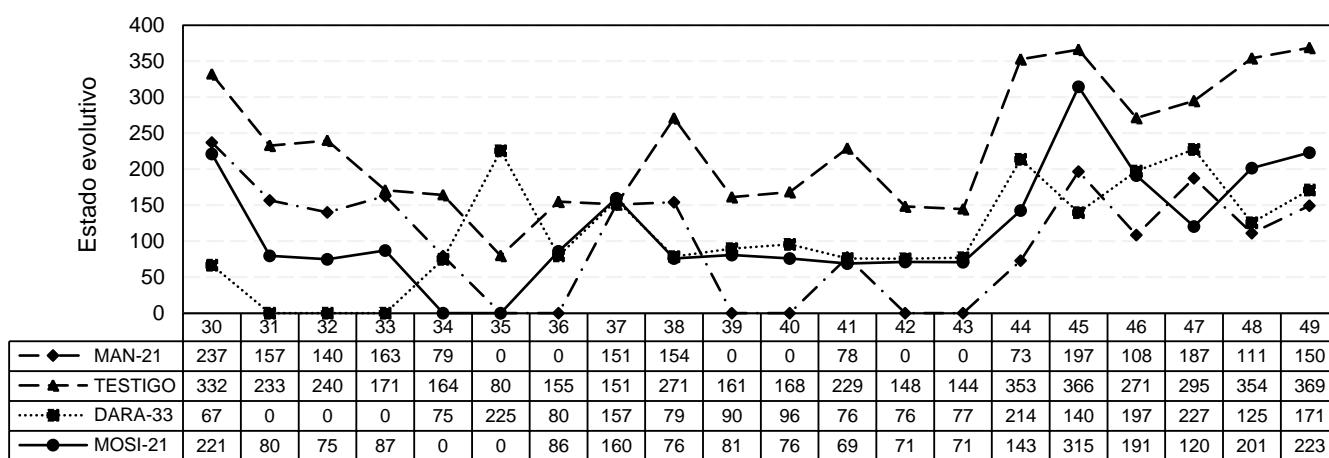


Figura 1. Comportamiento de la SN durante 20 semanas de evaluación. Línea roja representa al testigo, la azul a MAM21, verde DARA33 y morada MOSY21.

Los resultados significativos de las variables evaluadas para observar el desarrollo de la enfermedad de la SN causada por el hongo *M. fijiensis* en banano, indican que la enfermedad tuvo menos ocurrencia en los tratamientos inoculados con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) que en el testigo. Puede revelarse o afirmarse, que las PGPRs son capaces de inducir resistencia a las plantas frente al ataque del hongo (Tabla 3 y Figura 1). La inducción de resistencia a las plantas es mencionada por diferentes autores y estos resultados son comparables con los de otros investigadores (Marcano, 2014 y Marcano et al., 2016), que describen bacterias capaces de inducir resistencia plantas de banano frente al ataque de Sigatoka negra. Otros investigadores también describen la capacidad de las bacterias PGPRs para disminuir la incidencia de la enfermedad Sigatoka negra en el cultivo de banano (González, 1995; Chávez, 2016; Terrero et al., 2020; Marcano et al., 2024a y 2024b). Cabe destacar el papel importante en cuanto al desarrollo de los cultivos, resistencia sistémica y mejora en la productividad que describen algunos investigadores para los cultivos (Vejan et al., 2016; Di Salvo et al., 2018; Nakkeeran et al., 2021).

Efecto de las bacterias PGPRs en el desarrollo de las plantas de banano

En cuanto al desarrollo de las plantas de banano, los resultados para la variable número de hojas (NH) y grosor del pseudotallo (PS), no evidencian diferencias significativas entre los tratamientos con bacterias PGPRs y el testigo (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedios de número de hojas, grosor de pseudotallo y altura de plantas de banano (n = 4).

Tratamientos	Número de hojas (unidades)	Grosor del pseudotallo (cm)	Altura de la planta (cm)
Testigo	7.65 a	17.62 a	61.88 a
MAM21	8.11 a	18.88 a	67.46 a
MOSY21	9.60 a	21.55 a	78.02 a
DARA33	7.62 a	17.49 a	63.26 a
Error	0.59	1.44	46.46

experimental

Medias con una letra común entre valores de una misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

El análisis de prueba de Duncan realizado para la altura de las plantas (AL) no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tabla 4). Sin embargo, a pesar de no haber diferencias significativas en las variables evaluadas para el desarrollo de las plantas, el análisis de componentes principales, evidencia que las variables tienen afinidad con el tratamiento a base de bacterias MOSY21 (MS) identificada como *P. plecoglossicida*, lo que indica que hay una tendencia a mejora de las plantas por acción del tratamiento con bacterias PCPRs (Figura 2). Con los resultados del análisis de componentes principales, se puede sustentar, que las bacterias promotoras de crecimiento vegetal contribuyen al desarrollo de las plantas de banano. Diferentes investigadores han realizado publicaciones en la que demostraron que las bacterias PGPRs promueven el desarrollo de las plantas de banano (Ochoa et al., 2022; Jaizme-Vega et al., 2003) y otros cultivos (Sánchez, 2011; Di Salvo et al., 2018; Hussain et al., 2022).

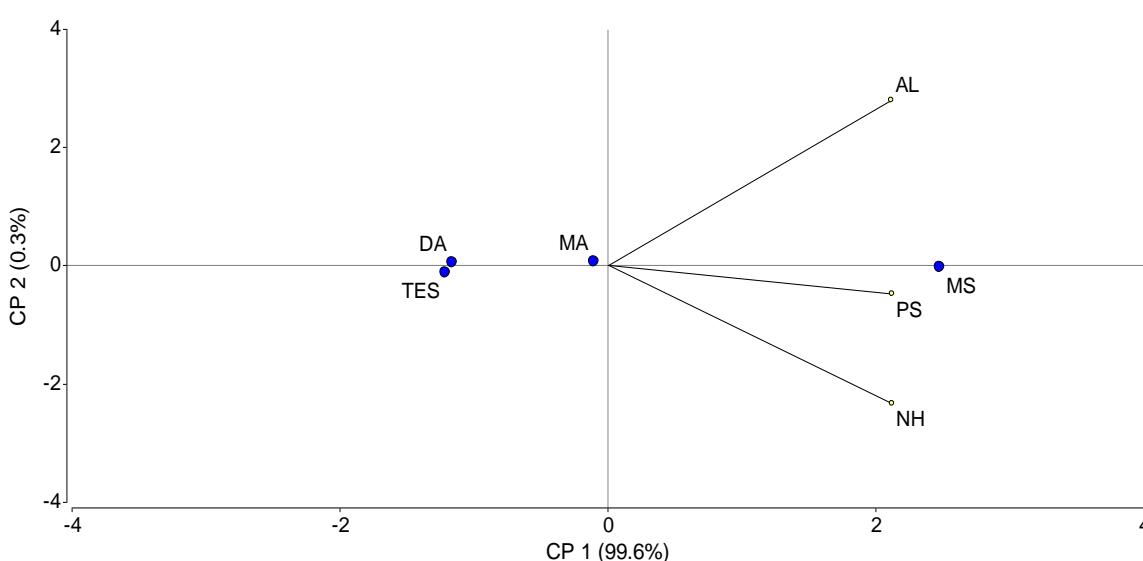


Figura 2. Análisis de componentes principales de las variables de desarrollo evaluadas.

Efecto de las bacterias PGPRs en la productividad del banano

En la cosecha de los frutos, los tratamientos a base de bacterias y el testigo, no tuvieron diferencias entre sí para las variables número de manos (NM), número de hojas (NH), grado o grosor (GG) y en la longitud del dedo de la mano apical (LDMA). Las variables número de dedos (ND) y longitud del dedo de la mano basal

(LDMB), muestran diferencias significativas para MOSY21 (MS21) identificada como *P. plecoglossicida*, con respecto a los demás tratamientos (Figura 3), resultados que pueden ser comparados con los de otros autores (Marcano, 2014; Terrero et al., 2020; Marcano et al., 2024a; Escaleras et al., 2025). Además del banano también se describe un aumento en la productividad para diferentes cultivos (Kang et al., 2014; Hussain et al., 2022).

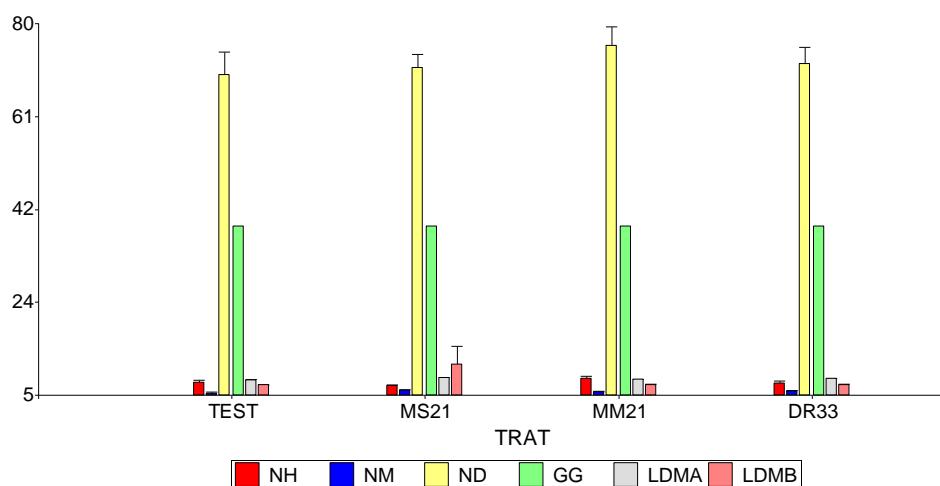


Figura 3. Variables de productividad evaluadas a los tratamientos al momento de la cosecha.
TEST: TESTIGO, MS21: MOSY21; MM21: MAM21 y DR33: DARA33.

CONCLUSIONES

Las bacterias PGPRs poseen la viabilidad potencial para disminuir la incidencia de la enfermedad causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis* en banano, como fue mostrado en los resultados de esta investigación con relación al comportamiento mostrado con relación a la no aplicación de las mismas. Entre los tratamientos bacterianos evaluados, MOSY21, identificada como una *Pseudomonas plecoglossicida*, Gram negativa, mostró el mejor comportamiento con relación a la disminución de los efectos de la enfermedad Sigatoka negra, al aporte en algunas variables indicadoras de desarrollo de las plantas y así como a variables relacionadas con la productividad. Se puede confirmar que estas bacterias son una alternativa a considerar como biocontroladores, ya que aportan significativos beneficios al cultivo de banano.

Agradecimientos

Al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCyT) y al Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDOCyT), por el financiamiento del proyecto

“Diseño de un biocontrolador basado en bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en banano orgánico en la línea noroeste, República Dominicana-2015-2A5-163”. Además, se agradece a la Universidad Autónoma de Santo Domingo, en Especial la Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias (FCAV-UASD), por ser contrapartida y ejecutor del proyecto. Se agradece a Gustavo Gandini de la Asociación de Bananeros Ecológicos de la Línea Noroeste (BANELINO), por facilitar el acceso a las plantaciones de banano orgánico para la realización de los muestreos. Leónidas Duran maestro investigador de la FCAV-UASD y José de Jesús Simé Monción, Robinson de Jesús Marrero Felipe, Santa Iluminada Jiménez Liberata, por su colaboración en el seguimiento de los ensayos y obtención de los resultados de la investigación. Graduados de la Escuela de Agronomía de la FCAV-UASD.

BIBLIOGRAFÍA

Benjumeda, D. 2017. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: mecanismo y aplicaciones (en línea). Universidad de Sevilla, Sevilla. España. Disponible en <https://idus.us.es/server/api/core/bitstreams/7d1b7a40-7cc4-48f7-b8f4-e5120305af4/content>

- Chávez, AKT. 2016. Identificación y selección de rizobacterias del género *Pseudomonas* spp. de cultívares endémicos de *Musa* spp. con actividad antagonista al hongo *Mycosphaerella fijiensis* (en línea). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstream/s/baaa3272-b33d-462c-9288-cc8e0b09712c/content>
- Di Renzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2016. InfoStat, versión 2016, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Di Salvo, LP; Cellucci, GC; Carlino, ME; García de Salamone, IE. 2018. Plant growth-promoting rhizobacteria inoculation and nitrogen fertilization increase maize (*Zea mays* L.) grain yield and modified rhizosphere microbial communities (en línea). *Applied Soil Ecology* 126:113-120. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.010>
- Emmanuel, OC; Babalola, OO. 2020. Productivity and quality of horticultural crops through co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting bacteria (en línea). *Microbiological Research* 239:126569. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126569>
- Escaleras, JC; Rivera Intriago, LM; Narváez Orellana, ÁF; Godoy, JA. 2025. Micorrización en la rizosfera y aclimatización de vitroplantas de banano: estrategias biotecnológicas, impacto en el crecimiento y sostenibilidad (en línea). Arandu UTIC 12(1):545-559. Disponible en <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.625>
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. Banano. Análisis del mercado de banano 2022 (en línea). Disponible en <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b7c671ae-c669-4f54-a7d2-c2fc9e4a489f/content>
- González, R. 1995. Efectos de microorganismos quitinolítico en el desarrollo de Sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis*, en banano (en línea). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4883/Efecto_de_microorganismos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hussain, MB; Shah, S; Matloob, A; Mubaraka, R; Ahmad, I; Tanveer; UIH; Jamshaid, M. 2022. Rice Interactions with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (en línea). Modern Techniques of Rice Crop Production. Disponible en http://dx.doi.org/10.1007/978-981-16-4955-4_14
- Jaizme-Vega, MC; Rodríguez, AS; Piñero, MS. 2003. Potential use of Rhizobacteria from the *Bacillus* genus to stimulate the plant growth of micropropagated banana (en línea). *Fruits* 59 (2): 83-90. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/44166681_Potential_use_of_rhizobacteria_from_the_Bacillus_genus_to_stimulate_the_plant_growth_of_micropropagated_bananas
- Kang, SM; Khan, AL; Waqas, M; You, YH; Kim, JH; Kim, JG; Guk, J; Hamayun, M; Lee, IJ. 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria reduce adverse effects of salinity and osmotic stress by regulating phytohormones and antioxidants in *Cucumis sativus* (en línea). *Journal of Plant Interactions* 9(1):673-682. Disponible en <https://doi.org/10.1080/17429145.2014.894587>
- 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. DOI: 10.18002/10612/4157/ Disponible en <http://hdl.handle.net/10612/4157>
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Pimentel Pujols, ÁR; Vicioso Alcalá, ÁF; Núñez Ramos, PA. 2024a. Uso de bacterias autóctonas promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plantaciones de banano orgánico en República Dominicana (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; Pimentel Pujols, ÁR; Vicioso Alcalá, ÁF; Núñez 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/kxys3855fa980>
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Urbano, B; González-Andrés, F. 2016. 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://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.04.013>
- Morales, L; Ullauri, MA., Dávila, A; Folgueras, M. 2011. Respuesta de genotipos mejorados de plátanos (*Musa* spp.) a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (en línea). 1-20. Disponible en https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Respuesta+de+genotipos+mejorados+de+pl%C3%A1tanos+a+Mycosphaerella+fijiensis+Morelet&btnG=
- Morales, IMM; Hernández, DMG. 2023. Bacterias asociadas a la rizósfera: mecanismos de interacción y métodos de identificación (en línea). Temas de Ciencia y Tecnología 27(79). Disponible en https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas79/T79_E05_bacterias_rizosfera_interaccion_identificacion.pdf
- Moreno, A; Carda, V; Reyes, JL; Vásquez, J; Cano, P. 2018. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable (en línea). *Revista Colombiana de Biotecnología* 20(1):68-83. Disponible en <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Nakkeeran, S; Rajamanickam, S; Saravanan, R; Vanthana, M; Soorianathasundaram, K. 2021. Bacterial endophytome-mediated resistance in banana for the management of Fusarium wilt (en línea). *3 Biotech* 11(6):267. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02833-5>

- Núñez, PA; Céspedes, CM; Pulido-Blanco, VC. 2025. Comportamiento de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), según sistema y zona de producción bananera, provincia Valverde, República Dominicana (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 12(1):103-112. Disponible en <https://doi.org/10.53287/jwfa4476ui29i>
- Ochoa, Y; Marco, P; Blanco, D; Tejedor, E. 2022. Estudio de la función de las bacterias PGPR en el desarrollo de la trufa (en línea). Universidad Zaragoza. Disponible en <https://zaguan.unizar.es/record/111722?ln=es#>
- Orjeda, G. 1998. Evaluación de la resistencia de los bananos a las enfermedades de Sigatoka negra y marchitamiento por *Fusarium* (en línea). Guías técnicas INIBAP 3. IPGRI, Roma, Italia; Red Internacional para el mejoramiento del banano y el plátano, Montpellier, Francia. Disponible en https://www.musalit.org/viewPdf.php?file=UP990670_spa.pdf&id=14001
- Pérez, A; Leyva, DA; Gómez, FC. 2018. Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050 (en línea). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 9(1):175-189. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>
- Ramírez, RF; Vargas, PL; Cárdenas, O. 2020. La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional (en línea). Espacios 41(45):319-328. Disponible en <https://revistaespacios.com/a20v41n45/a20v41n45p25.pdf>
- Sánchez, DB. 2011. Efecto de la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum* var. Sofía) bajo invernadero (en línea). Tesis de maestría, Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/items/7578bd23-3912-41a8-8891-c0ee50ffccb2>
- Santamaría, JE. 2021. Análisis económico de los costos de producción de banano orgánico de una finca en República Dominicana (en línea). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Disponible en https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11146/An%C3%A1lisis_econ%C3%B3mico_de_los_costos_de_producci%C3%B3n_de_banano_org%C3%A1nico_de_una_finca_en_Rep%C3%ADblica_Dominicana.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santoyo, G; Urtis-Flores, CA; Loeza-Lara, PD; Orozco-Mosqueda, MDC; Glick, BR. 2021. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) (en línea). Biology 10(6):475. Disponible en <https://doi.org/10.3390/biology10060475>
- Sarkar, A; Ghosh, PK; Pramanik, K; Mitra, S; Soren, T; Pandey, S; Mondal, MH; Maiti, TK. 2018. A halotolerant *Enterobacter* sp. displaying ACC deaminase activity promotes rice seedling growth under salt stress (en línea). Research in microbiology 169(1):20-32. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2017.08.005>
- Singh, J. 2013. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (en línea). Resonance 18:275-281. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s12045-013-0038-y>
- Terrero, PI; Peñaherrera, SL; Bustamante, AJ; Cedeño, GA; Solórzano, RF; Cedeño, GA. 2020. Inducción de resistencia a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y su relación con el rendimiento de plantas de banano (*Musa AAA* CV. Williams (en línea). Revista Espamciencia 11(2). Disponible en https://doi.org/10.51260/revista_espmciencia.v11i2.230
- Vejan, P; Abdullah, R; Khadiran, T; Ismail, S; Nasrulhaq Boyce, A. 2016. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability-A Review (en línea). Molecules. 21(5):573. Disponible en <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>

Artículo recibido en: 02 de junio del 2025

Aceptado en: 17 de agosto del 2025