

USO DE BACTERIAS AUTÓCTONAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR) EN EL CONTROL DE *Mycosphaerella fijiensis* EN PLANTACIONES DE BANANO ORGÁNICO EN REPÚBLICA DOMINICANA

Use of native plant growth promoting bacteria (PGPR) in the control of *Mycosphaerella fijiensis* in organic banana plantations in Dominican Republic

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

RESUMEN

La producción de banano orgánico (*Musa AAA L.*) es uno de los principales productos de exportación de la República Dominicana al mercado de EE. UU. y Europa. Este cultivo se ve afectado aproximadamente en un 50 % del área foliar, por la enfermedad Sigatoka negra agente causal *Mycosphaerella fijiensis* Morole. El control de esta enfermedad con agroquímicos es común, esto restringe su carácter orgánico y la factibilidad de comercialización, lo que trae como consecuencia dificultades para su control. El objetivo fue el uso de bacterias autóctonas promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el control de *Mycosphaerella fijiensis* en plantaciones de banano orgánico. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron tres bacterias (MAM21, DARA33 y MOSY21) y un testigo; y se evaluaron 10 plantas/tratamiento. Las plantas fueron inoculadas en vivero con un caldo bacteriano a razón de 20 ml c/u, a una concentración aproximada 6×10^8 UFC ml⁻¹, una semana antes de la siembra. Se midieron las variables indicadoras de evolución de la enfermedad Sigatoka negra correctivo evolución (CE), suma bruta (SB), suma evolutiva (SEV), estado evolutivo (EE). Desarrollo: altura de la planta (AL), grosor del pseudotallo (PS), número de hojas (NH) y productividad del banano: peso del racimo, grado del dedo. Se realizaron los análisis estadísticos ANOVA, Test de Duncan y Análisis de Componente Principal (ACP). Los resultados muestran al tratamiento MOSY21 (*P. plecoglossicida*) con estado evolutivo de la enfermedad Sigatoka negra en cero en diferentes semanas, así como mejor desarrollo de la planta y productividad. Estas bacterias pueden ser usadas en el fomento de la agricultura orgánica ya que, ayudan a mejorar el desarrollo de las plantas y la productividad.

Palabras clave: biocontrol, producción, estado evolutivo, enfermedad.

ABSTRACT

The production of organic bananas (*Musa AAA L.*) is one of the main export products of the Dominican Republic to the U.S. and European market. Approximately 50% of the leaf area of this crop is affected by the disease black Sigatoka, the causative agent *Mycosphaerella fijiensis* Morole. The control of this disease with agrochemicals is common, which restricts its organic character and the feasibility of commercialization, which results in difficulties for its control. The objective was to use autochthonous plant growth promoting bacteria (PGPR) in the control of *Mycosphaerella fijiensis* in organic banana plantations. A randomized whole-block experimental design was used with four treatments and four replications. The treatments were three bacteria (MAM21, DARA33 and MOSY21) and one control; and 10 plants/treatments were evaluated. The plants were inoculated in the nursery with a bacterial broth at a rate of 20 ml each, at a concentration of approximately 6×10^8 CFU ml⁻¹, one week before planting. The variables that indicate the evolution of the disease were measured by corrective black Sigatoka disease (CE), gross sum (SB), evolutionary sum (SEV), and evolutionary status (EE). Development: plant height (AL), pseudostem thickness (PS), number of leaves (NH) and banana productivity: bunch weight, finger grade. Statistical analyses were performed ANOVA, Duncan's Test and Principal Component Analysis (PCA). The results show the MOSY21 treatment (*P. plecoglossicida*) with the evolutionary status of the black Sigatoka disease at zero in different weeks, as well as better plant development and productivity. These bacteria can be used in the promotion of organic agriculture as they help improve plant development and productivity.

Keywords: biocontrol, organic, production, evolutionary status, disease.

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

INTRODUCCIÓN

La población mundial cada vez es más mayor, lo que se refleja en una mayor demanda de alimentos (Camelo et al., 2011; Ramírez et al., 2020), según Pérez et al. (2018), para 2050 la población estimada será de 9.1 mil millones de habitantes. Esta demanda, obliga al uso de tecnologías como fertilización química, semillas mejoradas, entre otras, dando como resultado una “agricultura intensiva”, con alto consumo de plaguicidas y fertilizantes químicos y contaminación de suelos, laboreo excesivo del suelo, daños a la salud y pérdida de la fertilidad de los suelos (Moreno et al., 2018). Para contrarrestar los efectos negativos de la agricultura intensiva y el uso de plaguicidas, se aplica la agricultura amigable con el ambiente (Pešaković et al., 2013). En este contexto, una alternativa recomendada es el uso de fertilizantes a base de microorganismos benéficos (Rodríguez-Navarro y Ruiz-Sainz, 2010). Entre estos, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs, por sus siglas en inglés “Plant Growth Promoting Rhizobacteria”) (Santoyo et al., 2021). Según Kloepper et al. (1989). Morales y Hernández (2023), reporta que las PGPRs están asociadas a la rizósfera en las plantas provocando múltiples beneficios. Entre estos, la disponibilidad y ayuda en la absorción de nutrientes y la producción de fitohormonas (Ucea-Herrera et al., 2020). Las auxinas como el ácido-3-indolacético (IAA), citoquininas y giberelinas que son las sustancias que mayor atención han recibido, habiéndose demostrado que diferentes géneros bacterianos las producen e inducen la germinación, mayor desarrollo de las raíces, favorecen la floración y la formación del fruto (Camelo et al., 2011; González y Fuentes, 2017).

Otra característica de las bacterias PGPR reportada por Ochoa et al. (2022), es la sintetización de diferentes enzimas; tales como, ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) desaminasa encargada de la reducción de la concentración de etileno, que producen las plantas bajo condiciones de estrés (Contesto et al., 2008; Bal et al., 2013; Barnawal et al., 2017; Sarkar et al., 2018). La producción de sideróforos es otro modo en que las bacterias favorecen el desarrollo de las plantas a través de la disponibilidad del hierro (Heidarzadeh y Baghaee-Ravari, 2015). Otro efecto es el incremento de la disponibilidad del fósforo, mediante la solubilización del P orgánico e inorgánico (Trujillo et al., 2011). Además, estas promueven el crecimiento de las plantas mediante, el control de otros microorganismos patógenos (Singh et al., 2011; Gupta et al., 2021). En

ese sentido estas pueden actuar mediante la producción de agentes antimicrobianos, lo que es un antagonismo directo sobre el patógeno, Resistencia Sistémica Inducida (RSI) en la propia planta (Harish et al., 2008; Singh, 2013; Gupta et al., 2021). La RSI se activa por la colonización de la superficie de las raíces por parte de las bacterias (Akila et al., 2011), activando sus defensas contra patógenos (Benjumeda, 2017).

Por estas características, estas bacterias son usadas como biofertilizantes y/o biocontroladores en diferentes cultivos (Moreno et al., 2018; Bigatton et al., 2020), incluido el banano (Marcano et al., 2016a y Marcano et al., 2016b; Moreno et al., 2018). El banano orgánico es afectado por la enfermedad Sigatoka negra causada por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet llamada actualmente *Pseudocercospora fijiensis* (Vázquez-Euán et al., 2019). La cual afecta el área foliar de la planta, lo que disminuye el rendimiento y las características del fruto en el cultivo (Marín et al., 2003), generando preocupación entre los productores de banano para exportación de la Línea Noroeste y otras localidades (Polanco, 2008), igualmente, en otros países donde se cultiva el género *Musa* AAA (Manzo-Sánchez et al., 2014).

La Sigatoka negra es considerada la principal enfermedad que afecta al banano en la República Dominicana, la cual produce necrosis y muerte acelerada de las hojas, lo que genera una madurez precoz del fruto (Ceballos et al., 2012), reducción del peso y tamaño de la fruta, factores que contribuyen a su rechazo para fines de exportación. Esta enfermedad afecta a casi todas las plantaciones de musáceas del país (Polanco, 2008). Si las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de la enfermedad, el ataque podría ser devastador, amenazando así la sostenibilidad de los sistemas de producción (Céspedes, 2008). Las pérdidas en la productividad del cultivo son estimadas entre el 30 al 80 %, cuando no se realiza el manejo apropiado de la enfermedad (Polanco, 2008).

Debido a las diferentes exigencias de control de calidad para la exportación del banano, en la República Dominicana se buscan alternativas para disminuir la incidencia de la Sigatoka negra y obtener frutas inocuas y de mejor calidad. Una de estas opciones es el uso de bacterias PGPRs como biofertilizantes y/o biocontroladoras del hongo. En ese sentido, se realizó la investigación con el objetivo de usar bacterias autóctonas promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el control de *Mycosphaerella fijiensis* en

plantaciones de banano. La misma fue realizada en plantaciones comerciales de banano orgánico en fincas de productores de la Asociación Bananos Ecológicos de la Línea Noroeste (BANELINO, 2017), provincia de Montecristi.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

Esta investigación se realizó en Hato del Medio, Distrito Municipal Hatillo Palma, provincia Montecristi, República Dominicana, Línea Noroeste, en una finca con una superficie de 22 ha y un área experimental de 0.15 ha. Las coordenadas UTM del área experimental fueron: 19.663742N - 71.209946W. Los suelos de la finca son de textura arcillosa, pH de 7.8 en CaCl₂, una capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) de 33.33 meq 100ml⁻¹ de suelo, y un 1.93 % de materia orgánica. El clima de la provincia Montecristi es semiárido, con temperatura y precipitación promedio

anual de 26.5 °C y 700 mm, respectivamente (Rodríguez et al., 2020).

Metodología

Selección de finca y material para ensayo

Se estableció una nueva plantación de banano en la finca del productor Domingo López Quezada. La siembra se realizó en el mes de febrero de 2019 y se utilizaron plantas *in vitro* de la variedad Cavendish (Gran enano), multiplicadas en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias de la Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD). 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 in vitro	Procedencia
T1	MAM21	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	Productora de ACC desaminase, productora de sideróforos e inhibidora de crecimiento Sigatoka negra	Ámina 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).

Obtención de las bacterias e inoculación de plantas

Estos microorganismos fueron cultivados en laboratorio en medio artificial *Tryptic Soy Agar* (TSA) por 24 horas a 28 °C y luego transferidas a medio líquido de *Tryptic Soy Broth* (TSB); se dejaron crecer por cinco días obteniendo una concentración aproximada 6x10⁸ unidades formadoras de colonias (UFC) por ml en UFC ml⁻¹. Las plantas de banano fueron inoculadas con cepas bacterianas a razón de 20 ml planta⁻¹ y una dosis única. La solución inoculada fue distribuida alrededor la cada planta, incluyendo la zona radicular, usando jeringas plásticas de 20 ml. Las plántulas fueron endurecidas en vivero por una semana, posterior a su inoculación y luego, fueron sembradas en campo. Las plantas fueron manejadas por el productor, según las exigencias para plantaciones orgánicas.

Manejo de la plantación y diseño experimental en la investigación

Se realizaron diferentes labores en el experimento, tales como construcción de drenajes en toda la parcela, pase de rastra y cruce, subsolado, corte, cruce y nivelación a láser 0.0 por terrazas y la construcción de muros en las orillas de las terrazas y los drenajes. Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, con un marco de plantación 2 m x 2.5 m; por cada tratamiento se establecieron 24 plantas y se evaluaron 10 plantas por tratamiento.

Variables medidas para la evolución de la Sigatoka negra

La evaluación en plántulas de banano se inició en la semana 15 después de plantado y con un desarrollo

de 10 hojas verdaderas. Para el análisis del impacto de Sigatoka negra en las plantas de banano se tomaron datos semanales de los diferentes indicadores del estado evolutivo, según Stover (1980) modificada por Gauhl (1989) y citado por Orjeda (1998) y Morales et al. (2011), estos datos fueron: correctivo evolución (CE), suma Bruta (SB), suma evolutiva (SEV) y estado evolutivo (EE).

Los datos para la evaluación de la evolución de Sigatoka negra fueron recolectados en un formulario usado por BANELINO para llevar el control de la enfermedad en las plantaciones bananeras. Se realizaron dos evaluaciones durante el ensayo: una primera en la plantilla y otra a la planta sustituta. La toma de datos en la planta de banano finalizó una vez inicia la fructificación, ya que en esta fase deja de emitir hojas nuevas. Sin embargo, se continuó la evaluación en el hijo, que es el sustituto de la planta madre.

Para evaluar el desarrollo de las plantas de banano las variables medidas fueron: altura de la planta (AL) tomada desde la base de la planta hasta la base del pedúnculo de la última hoja totalmente abierta. Grosor del pseudotallo (PS) medida alrededor de la planta en la parte media tomando como referencia la medida desde la base de la planta hasta la base del pedúnculo de la última hoja totalmente abierta, estas variables se midieron con un centímetro (cm). El número de hojas (NH), aquí se contaba la cantidad de hojas abiertas. En la evaluación de la cosecha del banano se tomaron los siguientes parámetros: peso del racimo (Lb) tomada con una balanza, grado del dedo para el cual se midió el dedo central de la primera mano de abajo del racimo, utilizando un instrumento calibrado en milímetros, largo del dedo (cm) desde la base del fruto con el raquis hasta la punta de este, número de manos,

número de hojas al momento de la cosecha, semana de cosecha, esta última se determina a partir del inicio de la inflorescencia.

Análisis de datos

Se empleó el Software estadístico Infostat (2018), para análisis estadísticos de los datos compilados en la investigación. Se realizó ANOVA, Test de Duncan con una probabilidad de 0.95 para las fuentes de variación que resultaron significativas y Análisis de Componente Principal (ACP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de la Sigatoka negra

El testigo tuvo mayor grado de infección por incidencia de la Sigatoka negra con relación a los demás tratamientos (Figura 1), siendo las variables CE, SB, SEV, EE más altas. La cepa codificada como MOSY21, identificada como *P. plecoglossicida*, muestra los mejores resultados sobre los demás tratamientos.

Los resultados encontrados son similares a los reportados por Marcano (2014); Marcano et al. (2016a y 2016b), estos reportan *P. plecoglossicida* con capacidad biocontroladora de Sigatoka negra. Mientras que, González (1995), realizó la búsqueda de microorganismos antagonistas a *M. fijiensis* en ensayos *in vivo* y obtuvo que los microorganismos indujeron un resultado positivo en el control de la enfermedad. Según Restrepo (2020), la disminución de la incidencia de la Sigatoka negra en las hojas del cultivo de banano, sugiere que las bacterias pueden inducir la resistencia en la expresión génicas en las plantas.

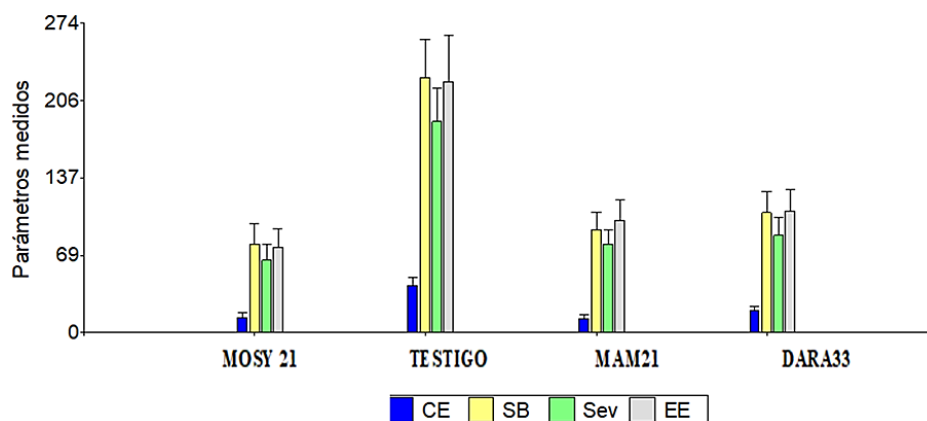


Figura 1. Evaluaciones de la incidencia de Sigatoka negra en campo de producción de banano, Hato del Medio con relación a correctivo evolución (CE), suma bruta (SB), suma evolutiva (SEV), estado evolutivo (EE).

Otro indicador de las diferencias significativas entre los tratamientos con bacterias y el testigo con respecto al estado evolutivo de la enfermedad, se presentan en las curvas mostradas en la primera evaluación realizada en el transcurso de desarrollo de las plantas (Figura 2). Se observa el testigo con mayor incidencia de la enfermedad en la semana de inicio de la evolución con

un pico en la semana 41. La baja evolución de la incidencia de la enfermedad se puede atribuirse a la inducción de resistencia que pueden aportar las bacterias PGPR a las plantas. La inducción de resistencia es otra característica de las PGPR, según Posada (2017), aplicar bacterias PGPR produce un efecto de antagonismo contra patógenos.

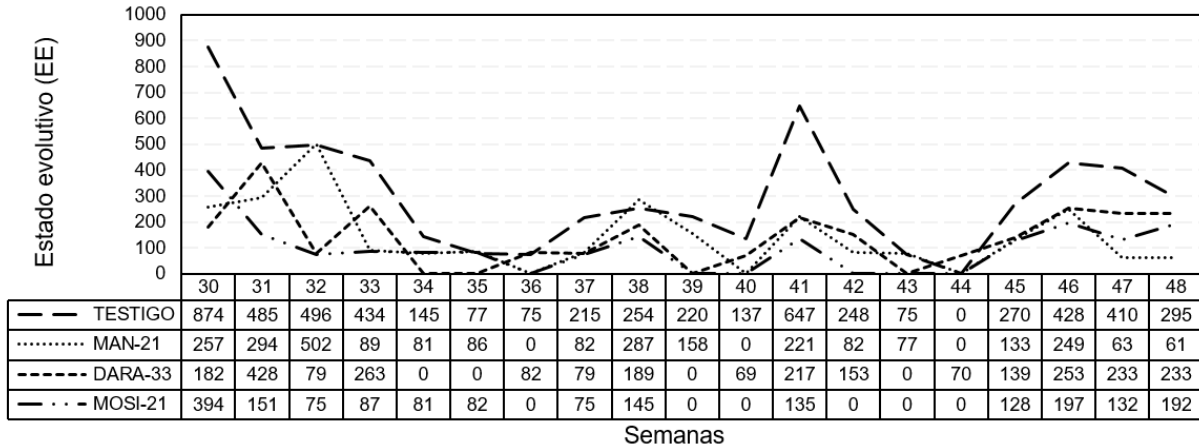


Figura 2. Evolución incidencia de Sigatoka negra durante el período de 19 semanas.

Los resultados para el ritmo de emisión foliar (Ref) durante las semanas de evaluación del ensayo para el desarrollo de la enfermedad Sigatoka negra desde la semana 30 hasta la 48, indican que los tratamientos bacterianos tienen mejor Ref en comparación con el testigo (Figura 3). El número de hojas en banano es un indicador de desarrollo de las plantas (Martínez et al., 2015; Castaño et al., 2021).

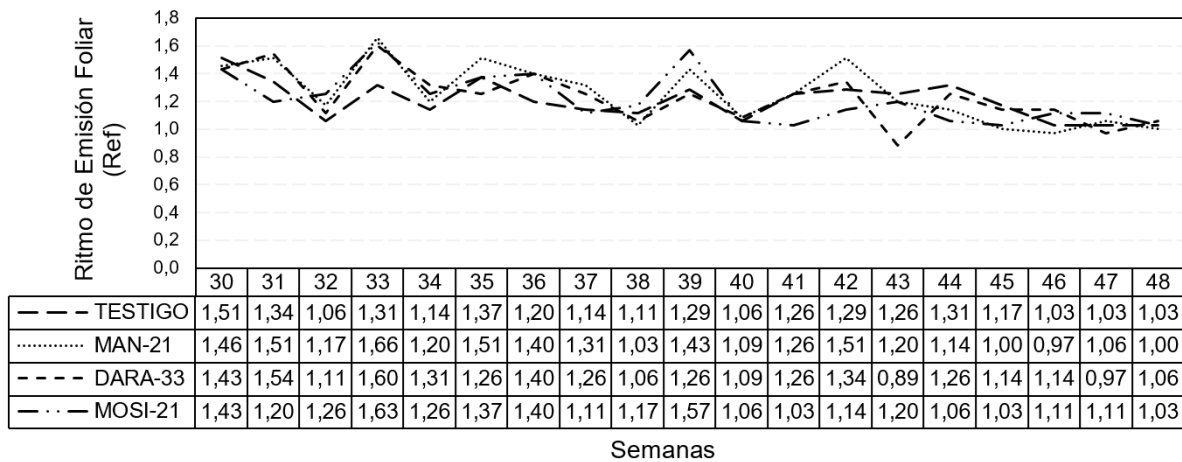


Figura 3. Ritmo de emisión foliar (Ref) durante el periodo de evaluación de 19 semanas las semanas.

Indicadores de desarrollo de las plantas de banano

Los indicadores evaluados para el desarrollo de las plantas fueron Ref, AL, PS y NH, los tres tratamientos con bacterias poseen diferencias significativas con respecto al testigo (TEST) con relación a dichas variables, y no hay diferencias entre las cepas

MOSY21 (*P. plecoglossicida*) y DARA33 (*Bacillus licheniformis*), según Tabl. Para la variable del número total de hojas por planta, los resultados indican que la bacteria MOSY21 mostró diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos evaluados en el ensayo (Figura 4).

Tabla 2. Emisión foliar, promedio total de hojas, grosor del pseudotallo (cm) de las plantas de banano con la aplicación de tres bacterias y un control (n = 10).

Tratamiento	Emisión foliar promedio (conteo)	Promedio total de número de hojas (conteo)	Grosor del pseudotallo (cm)	Altura de las plantas (cm)
MOSY21 (<i>P. plecoglossicida</i>)	2.47a	10.78a	35.21a	120.61a
DARA33 (<i>B. licheniformis</i>)	2.43a	10.33ab	29.76b	102.37bc
MAM21 (<i>P. plecoglossicida</i>)	2.31b	9.67c	28.26b	102.37bc
Testigo	2.11c	10.02bc	31.77ab	110.84ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); n= tamaño de la población; el error estándar en la prueba de Duncan fue de 0.04 para la emisión foliar, 0.2 para el promedio total de hojas, 1.39 grosor del pseudotallo y 4.95 para altura de plantas en todos los tratamientos.

En relación al grosor del pseudotallo, los resultados muestran a MOSY21 con diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos con bacterias, no así con el testigo; en ese mismo orden, el testigo resultó igual a las demás bacterias (Tabla 2). En la altura de las plantas, muestra que MOSY21 tiene diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos (Tabla 2). Al realizar análisis de componente principal (ACP), los resultados de las variables evaluadas para el desarrollo de las plantas

se evidencia el buen comportamiento de la cepa MOSY21 (*P. plecoglossicida*), al estar todas las variables analizadas más cercanas a este tratamiento (Figura 4). Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros investigadores, que muestran que las bacterias PGPRs produjeron un efecto positivo en el desarrollo de las plantas de banano y en otros cultivos (Díaz et al., 2001; Valencia y Valencia, 2008; Sánchez, 2011; Marcano et al., 2014).

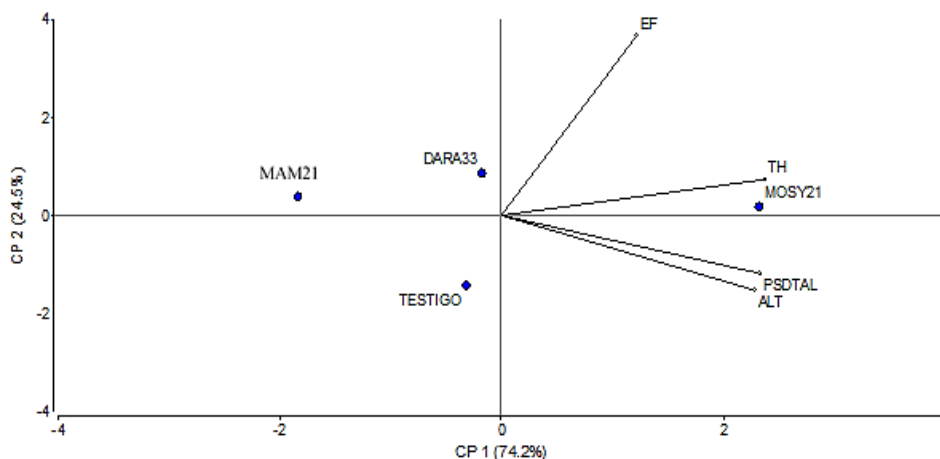


Figura 4. Análisis de componentes principales (CP) para las variables de desarrollo de las plantas de banano.

Indicadores de la productividad del banano

En el análisis realizado para las semanas de cosecha del fruto no hubo diferencias significativas entre los tratamientos MOSY21, DARA33 y el testigo; sin embargo, se confirma que los tratamientos con bacterias fueron cosechados una semana antes comparado con el testigo. Para la variable del número de hoja al momento de la cosecha el tratamiento MOSY 21 tuvo diferencias significativas con respecto al testigo. El número de hojas tuvo diferencias significativas entre MOSY21 y el testigo (Tabla 3). Esta variable es importante al momento de la cosecha, ya que constituye un indicador de la calidad de la fruta a exportar.

Tabla 3. Semana de cosecha del racimo y número de hojas al momento de la cosecha de plantas de banano con la aplicación de tres bacterias y un control (n = 10).

Tratamiento	Semana de cosecha del racimo	Número de hojas al momento de la cosecha
MOSY21 (<i>P. plecoglossicida</i>)	9.9a	5.5a
DARA33 (<i>B. licheniformis</i>)	9.8a	4.5ab
MAM21 (<i>P. plecoglossicida</i>)	9.1b	4.7ab
Testigo	10.2a	4.3b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$); n= tamaño de la población; el error estándar en la prueba de Duncan fue de 0.23 para la semana de cosecha del racimo y 0.36 para el número de hojas al momento de la cosecha en banano para todos los tratamientos.

El análisis de componente principal de la evaluación del racimo muestra una tendencia con relación a un mejor comportamiento de los tratamientos MOSY21 y MAM21, los cuales arrojan los mejores resultados (Figura 5). Los resultados obtenidos en esta

investigación son comparables con los reportados por otros autores en el cultivo de musáceas (Marcano, 2014; Chávez, 2016; Marcano et al., 2016a y 2016b; Terrero et al., 2020).

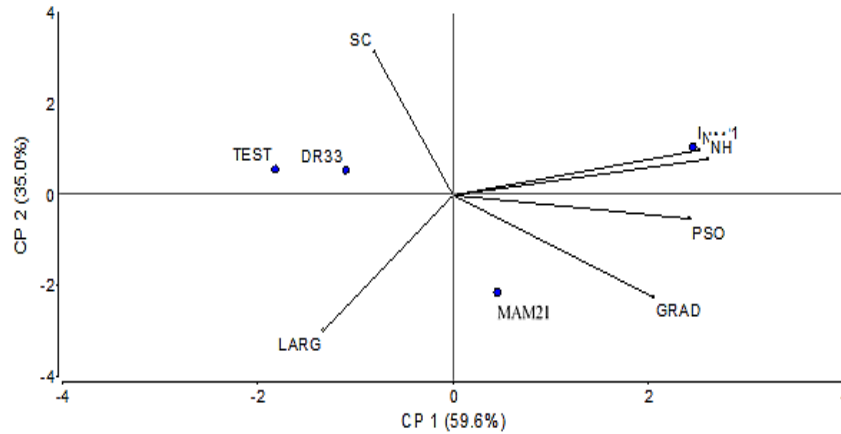


Figura 5. Análisis de componentes principales (CP) de las variables de producción medida en la finca de banano.

CONCLUSIONES

El uso de PGPRs en el cultivo del banano tiene potencial para promover una agricultura sostenible y aumentar la productividad de este cultivo. El uso de las bacterias PGPRs como biocontroladoras de la Sigatoka negra en el cultivo de banano y promotoras del desarrollo de las plantas superaron el comportamiento del testigo, siendo resultados con gran potencial para mejorar el control de la enfermedad y contribuir a un mejor rendimiento del banano. La cepa MOSY21 identificada como *P. plecoglossicida*, mostró el mejor resultado en cuanto a las variables evaluadas para el control de la enfermedad causada por *Mycosphaerella fijiensis*, así como en el desarrollo y la productividad de las plantas de banano, resultando con potencial para ser procesada, industrializada y puesta a disposición de los productores de banano orgánico. Estas bacterias pueden ser usadas para la agricultura orgánica con la finalidad de mejorar el desarrollo de las plantas de banano y su productividad. Al considerar que las PGPRs producen enzimas como: ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) desaminasa, lo que contribuiría de forma positiva en una reducción de etileno y facilitaría el control de las enfermedades que atacan al banano. Luego de concluida la fase uno del proyecto, se recomienda una segunda fase que incluya: 1. Enfatizar el potencial de las PGPRs en el control de la Sigatoka negra en el control de la enfermedad *in situ*; y 2. Explicar cómo las PGPRs interfiere en el ciclo de la vida del hongo *Mycosphaerella fijiensis*.

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 “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 Juan Ramón Núñez Rodríguez, Melvin Antonio Estévez, Héctor Luis Peralta Rodríguez, 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

- Akila, R; Rajendran, L; Harish, S; Saveetha, K; Raguchander, T; Samiyappan, R. 2011. Combined application of botanical formulations and biocontrol agents for the management of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (foc) causing Fusarium wilt in banana. Biological control, 57(3):175-183.
- Bal, H; Nayak, L; Das, S; Adhya, T. 2013. Isolation of ACC deaminase producing PGPR from rice rhizosphere and evaluating their plant growth promoting activity under salt

- stress (en línea). *Plant and Soil*, 66: 93-105. Consultado 12 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1402-5>
- BANELINO. Asociación Bananos Ecológicos de la Línea Noroeste. 2017. Orígenes del banano y variedad de siembra (en línea). Consultado 18 ago. 2023. Disponible en <http://banelino.com.do>
- Barnawal, D; Pandey SS; Bharti, N; Pandey, A; Ray, T; Singh, S; Chanotiya, CS; Kalra, A. 2017. ACC deaminase-containing plant growth-promoting rhizobacteria protect *Papaver somniferum* from downy mildew. *Journal of applied microbiology*, 122:1286-1298. Consultado 09 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1111/jam.13417>
- Benjumeda, D. 2017. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal: mecanismo y aplicaciones. Universidad de Sevilla, Sevilla: (pp.3). España.
- Bigatton, ED; Haro, RJ; Berdini, A; Baldessari, JJ; Lucini, El. 2020. Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) y sus efectos sobre la floración, ontogenia del grano y la granometría del cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L. *South American Sciences* ISSN 2675-7222, 1(2):e2059-e2059.
- Camelo, M., Vera, SP; Bonilla, RR. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (en línea). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 12(2):159-166. Consultado 22 oct. 2023. Disponible en https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:227
- Castaño, AMP; Durango, DPM; Polanco-Echeverry, D; Arias, JA. C. 2021. Rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. *Revista de Investigación Agraria y ambiental*, 12(2):161-178.
- Ceballos, I., Mosquera, S; Angulo, M; Mira, J; Argel, L; Uribe-Velez, D; Villegas, V. 2012. Cultivable bacteria populations associated with leaves of banana and plantain plants and their antagonistic activity against *Mycosphaerella fijiensis*. *Microbial Ecology*, 64:641-653.
- Céspedes, CM. 2008. Distribución epidemiología y manejo de la Sigatoka negra en República Dominicana. 15 p.
- Chávez, KT. 2016. Identificación y selección de rizobacterias del género *Pseudomonas* spp de cultivares endémicos de *Musa* spp. con actividad antagonista al hongo *Mycosphaerella fijiensis* (en línea). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Consultado 14 feb. 2024. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1932>
- Contesto, C; Desbrosses, G; Lefoulon, C. 2008. Effects of rhizobacterial ACC deaminase activity on Arabidopsis indicate that ethylene mediates local root responses to plant growth-promoting rhizobacteria (en línea). *Plant Science*, 175:178-189. Consultado 09 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2008.01.020>
- Díaz, P; Ferrera, R; Almaraz, JJ; Alcántar, G. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga *Terra Latinoamericana*, 19(4):327-335.
- Gauhl, F. 1989. Untersuchunge zurepidemiologie un okoioigie de Schuwargen Sigatoka krankheit (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) an kockbonanen (*Musa* sp.) in Costa Rica. Thesis. Univ. Gottingen (west germany), 128p.
- González, R. 1995. Efectos de microorganismos quitinolíticos en el desarrollo de Sigatoka negra *Mycosphaerella fijiensis*, en banano (en línea). CATIE. Consultado 09 dic. 2023. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4883>
- González, H; Fuentes, N. 2017. Mecanismo de acción de cinco microorganismos promotores de crecimiento vegetal (en línea). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1):17-31. Consultado 28 nov. 2023. Disponible en <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173401.61>
- Gupta, K; Dubey, NK; Singh, SP; Kheni, JK; Gupta, S; Varshney, A. 2021. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Current and Future Prospects for Crop Improvement (en línea). *Environmental and Microbial Biotechnology*. Consultado 01 oct. 2023. Disponible en https://doi.org/10.1007/978-981-15-6949-4_9
- Harish, S; Kavino, M; Kumar, N; Saravanakumar, D; Soorianathasundaram, K; Samiyappan, R. 2008. Biohardening with Plant Growth Promoting Rhizosphere and Endophytic bacteria induces systemic resistance against Banana bunchy top virus (en línea). *Applied Soil Ecology*, 39(2). Consultado 09 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.12.006>
- Heidarzadeh, N; Baghaee-Ravari, S. 2015. Application of *Bacillus pumilus* as a potential biocontrol agent of *Fusarium* wilt of tomato (en línea). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 48:13-16. Consultado 07 oct. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1080/03235408.2016.1140611>
- Kloepper, JW; Lifshitz, R; Zablutowicz, RM. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology*, 7:39-44.
- Manzo-Sánchez, G; Orozco-Santos, M; Martínez-Bolaños, L; Garrido-Ramírez, E; Canto-Canche, B. 2014. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa* sp.) en México (en línea). *Revista mexicana de fitopatología*, 32(2):89-107. Consultado 28 oct. 2023. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/612/61243856002.pdf>
- Marín, DH; Romero, RA; Guzmán, M; Sutton, T. 2003. Sigatoka negra: una amenaza creciente para el cultivo del banano (en línea). Consultado 24 nov. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.3.208>
- 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. España: Tesis doctoral de la Universidad de León. 269 p.
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Seco, V; Urbano, B; González-Andrés, F. 2016a. Induced Systemic Resistance Could Explain the Reduction in the Incidence of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) in Banana Plants Inoculated with Bacteria Isolated from Banana

- Tree Roots in the Dominican Republic. SN - 978-3-319-32526-2. pp 155-170. DO- 10.1007/978-3-319-32528-6_14. Biological Nitrogen Fixation and Beneficial Plant-Microbe Interaction.
- Marcano, IE; Díaz-Alcántara, CA; Urbano, B; González-Andrés, F. 2016b. Assessment of bacterial populations associated with banana tree roots and development of successful plant probiotics for banana crop. *Soil Biology and Biochemistry*, 99:1-20.
- Martínez, FC; Álvarez, AEB; Malagón, GC; Carriel, JM; Jaramillo, MP; Rosero, NC. 2015. Aplicación de Rizobacterias que promueven el crecimiento en plantas (PGPR) del género *Pseudomonas* spp. como controladores biológicos de insectos y nemátodos-plagas. *Ciencia y Tecnología*, 8(1):25-30.
- Morales, L; Ullauri, MA; Dávila, A; Folgueras, M. 2011. Respuesta de genotipos mejorados de plátanos (*Musa* spp.) a *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. 1-20.
- Morales, IMM; Hernández, DMG. 2023. Bacterias asociadas a la rizósfera: mecanismos de interacción y métodos de identificación. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 27(79).
- 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. Consultado 06 dic. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707>
- Ochoa, Y; Marco, P; Blanco, D; Tejedor, E. 2022. Estudio de la función de las bacterias PGPR en el desarrollo de la trufa. Universidad Zaragoza. Consultado 09 oct. 2023. 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*. Guías técnicas INIBAP 3. IPGRI, Roma, Italia; Red Internacional para el mejoramiento del banano y el plátano, Montpellier, Francia.
- 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. Consultado 05 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>
- Pešaković, M; Karaklajić-Stajić, Ž; Milenković, S; Mitrović, O. 2013. Biofertilizer affecting yield related characteristics of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) and soil micro-organisms. *Scientia Horticulturae*, 150:238-243.
- Polanco, T. 2008. Patógenos asociados a las musáceas en la República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Santo Domingo. 28p.
- Posada, L. 2017. Promoción de crecimiento vegetal de *Bacillus subtilis* EA-CB0575, colonización rizosférica y potencial genómico y bioquímico (en línea). Universidad Nacional de Colombia. Consultado 09 dic. 2023. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59749>
- Ramírez, RF; Vargas, PL; Cardenas, O. 2020. La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional. *Espacios*, 41(45):319-328.
- Restrepo, S. 2020. Efecto de la inoculación bacteriana a nivel radicular sobre el crecimiento y la sanidad de plantas de banano (en línea). Bachelor's thesis, Universidad EAFIT. Consultado 17 feb. 2024. Disponible en <https://repository.eafit.edu.co/items/218b34b3-a1bc-471f-a777-65c4e74d085c>
- Rodríguez, F; Abreu, B; Yranlli, E. 2020. Análisis de la perspectiva y desarrollo turístico del corto, mediano y largo plazo, Zona Noroeste; Caso: Montecristi, República Dominicana, año 2020-2025. Tesis Doctoral. Universidad APEC.
- Rodríguez-Navarro, DN; Ruíz-Sainz, JE. 2010. Biofertilizers. In: *Agricultural sciences topics in modern agricultura*. González-Fontes, A; Gárate, A; Bonilla, I. (eds). pp 79-102.
- Sánchez, DB. 2011. Efecto de la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum* var. Sofía) bajo invernadero. Tesis de maestría, Bogotá.
- Santoyo, G; Urtis-Flores, CA; Loeza-Lara, PD; Orozco-Mosqueda, MDC; Glick, BR. 2021. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Biology*, 10(6):475.
- 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. Consultado 18 mar. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2017.08.005>
- Singh, J. 2013. Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Resonance*, 18:275-281.
- Singh, JS; Pandey, VC; Singh, DP. 2011. Efficient Soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140:339-353.
- Stover, RH. 1980. Sigatoka leaf spot of banana and plantains. *Plant Disease*, 64:750-756.
- 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. *Revista EspamCiencia*, 11(2):80-87.
- Trujillo, ME; De La Vega, PA; Carro, L; Martínez, P; Martínez, E. 2011. Actinobacterias endófitas de raíces y nódulos fijadores de nitrógeno: Papel ecológico y potencial biotecnológico. En: *fundamentos y aplicaciones agroambientales de las interacciones beneficiosas plantas-microorganismos*. Sociedad Española de Fijación de Nitrógeno (SEFIN). Mejía Guijo, M; Rivilla Palma, R; Soto Misffut, MJ; Delgado Igeño, MJ; González García, E; Mateos González, PF; León Barrios, M; Rodelas González, B; Bedmar Gómez, EJ. (eds). pp 297-312.
- Ucea-Herrera, JI, Quiroz-Velásquez, JDC; Hernández-Mendoza, JL. 2020. Impacto de *Azospirillum* Brasilense,

una Rizobacteria que estimula la producción del Ácido Indol-3-Acético como el mecanismo de mejora del crecimiento de las plantas en los cultivos agrícolas. Revista Boliviana de Química, 37(1):34-39. Consultado 08 nov. 2023. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602020000100005&lng=es&tlng=es

Valencia, AM; Valencia, VE. 2008. Desarrollo de una formulación con base en rizobacterias para la promoción del crecimiento del banano. Proyecto de grado. Universidad EAFIT, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Procesos, Medellín.

Vázquez-Euán, R; Chi-Manzanero, B; Hernández-Velázquez, I; Tzec-Simá, M; Islas-Flores, I; Martínez-Bolaños, L; Garrido-Ramírez, E.R; Canto-Canché, B. 2019. Identification of New Hosts of *Pseudocercospora fijiensis* Suggests Innovative Pest Management Programs for Black Sigatoka Disease in Banana Plantations (en línea). Agronomy, 9(10):666. Consultado 15 feb. 2024. Disponible en <https://doi.org/10.3390/agronomy9100666>

Artículo recibido en: 28 de mayo del 2024

Aceptado en: 22 de agosto del 2024