



Actividad antagonista de PGPR en nematodo fitoparásito *Pratylenchus* spp. en *Musa paradisíaca* (*Musa acuminata* × *M. balbisiana*) vc cavendish

PGPR antagonistic activity in plant parasitic nematode *Pratylenchus* spp. in *Musa paradisíaca* (*Musa acuminata* × *M. balbisiana*) vc cavendish

Atividade antagônica de PGPR sobre o nematoide parasita de plantas *Pratylenchus* spp. em *Musa paradisíaca* (*Musa acuminata* × *M. balbisiana*) vc cavendish

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.297>

Jorge Abel Crespo Ávila¹
jrcrespo@uteq.edu.ec

Cecibel Carolina Carranza Cárdenas¹
cecibel393@gmail.com

Angel Virgilio Cedeño Moreira¹
acedenom@uteq.edu.ec

Luis Fernando Vera Benites¹
luisf.vera@uteq.edu.ec

Maria Sol Chevez Villanueva²
solchevezv@hotmail.com

¹Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Quevedo, Ecuador

²Universidad Agraria del Ecuador. Guayaquil, Ecuador

Artículo recibido 9 de junio 2024 / Arbitrado 9 de julio 2024 / Publicado 20 de septiembre 2024

RESUMEN

El uso excesivo de nematicidas para el control de *Pratylenchus* spp. en el cultivo de banano incide en la reducción de microorganismos benéficos del suelo. Para lo cual el objetivo fue evaluar la actividad antagonista de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) en el control de *Pratylenchus* spp. El estudio se desarrolló en áreas del departamento de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. Se aplicaron diseño experimental completamente aleatorizado con cinco tratamientos, tres consorcios de rizobacterias y dos controles (químico y sin aplicación). Se evaluaron variables morfológicas y fisiológicas en las plantas, además del número de nematodos en suelo y raíz. Los resultados mostraron que la combinación de cepas (*Acinetobacter*, *Serratia*, *Pseudomonas*) presentó mayor peso y longitud radicular (164,7g y 48,7 cm), además del contenido de raíces funcionales, un mayor contenido de clorofila y reducción de la población de nematodos en raíces y suelo en más del 50%. Por lo que las PGPR constituyen una alternativa biológica efectiva para el control de fitonematodos.

Palabras clave: Antagonismo de Rizobacterias; Consorcio de bacterias; Microorganismos benéficos del suelo; Musáceas; Fitonematodos; Sostenibilidad

ABSTRACT

The excessive use of nematicides for the control of *Pratylenchus* spp. in banana crops has an impact on the reduction of beneficial microorganisms in the soil. The objective was to evaluate the antagonistic activity of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in the control of *Pratylenchus* spp. The study was developed in areas of the Biotechnology Department of the State Technical University of Quevedo, Ecuador. A completely randomized experimental design was applied with five treatments, three consortia of rhizobacteria and two controls (chemical and without application). Morphological and physiological variables were evaluated in the plants, in addition to the number of nematodes in soil and roots. The results showed that the combination of strains (*Acinetobacter*, *Serratia*, *Pseudomonas*) had a higher root weight and length (164.7 g and 48.7 cm), in addition to the functional root content, a higher chlorophyll content and a reduction of the nematode population in roots and soil by more than 50%. Therefore, PGPR constitute an effective biological alternative for the control of phytonematodes.

Key words: Rhizobacteria antagonism; Bacterial consortium, Beneficial soil microorganisms; Musaceae; Phytonematodes; Sustainability

RESUMO

O uso excessivo de nematicidas para controle de *Pratylenchus* spp. No cultivo da bananeira afeta a redução de microrganismos benéficos do solo. Para o qual objetivou-se avaliar a atividade antagônica de Rizobactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (PGPR) no controle de *Pratylenchus* spp. O estudo foi desenvolvido em áreas do departamento de Biotecnologia da Universidade Técnica Estadual de Quevedo, Equador. Foi aplicado delineamento experimental inteiramente casualizado com cinco tratamentos, três consórcios de rizobactérias e duas testemunhas (químicas e sem aplicação). Foram avaliadas variáveis morfológicas e fisiológicas nas plantas, além do número de nematóides no solo e nas raízes. Os resultados mostraram que a combinação de cepas (*Acinetobacter*, *Serratia*, *Pseudomonas*) apresentou maior peso e comprimento de raiz (164,7g e 48,7 cm), além do conteúdo de raízes funcionais, maior teor de clorofila e redução na população de nematóides nas raízes e no solo em mais de 50%. Portanto, os PGPR constituem uma alternativa biológica eficaz para o controle de fitonematoides.

Palavras-chave: Antagonismo de rizobactérias; Consórcio bacteriano; Microorganismos benéficos do solo; Musaceae; Fitonematoides; Sustentabilidade

INTRODUCCIÓN

El cultivo del banano es de importancia para el Ecuador por los ingresos que este genera para el estado y las empresas del sector privado. La exportación bananera representa el 20% del producto interno bruto (PIB) general y aproximadamente el 35% del PIB agrícola (1). La reducción de la producción del banano se ve afectado por problemas de hongos, bacterias, virus y el ataque de nematodos parásitos principalmente del género *Pratylenchus* (2).

Es por esto que, nematodo del género *Pratylenchus* spp. (Lesionador) es causante de grandes pérdidas del cultivo del banano y se encuentra distribuido a nivel mundial. Sus daños son básicamente mecánicos, con la formación de lesiones al sistema radicular que luego son invadidas por patógenos secundarios como bacterias u hongos, acelerando el proceso de degradación de las raíces. Estos penetran en las raíces jóvenes de las plantas hospedadoras, allí migran a través de ellas, a menudo destruyendo células (3).

De ahí que, el uso intensivo de nematicidas organofosforados y carbofurados resultan perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente causando disminución de la microfauna del suelo (4); como a esta situación, el empleo de alternativas sustentables, surge el uso de las bacterias promotoras del crecimiento de plantas por sus siglas en inglés (PGPR) como alternativa

biológica para el control de distintos nematodos, además de favorecer el crecimiento de las plantas por la producción de fitohormonas (5).

En este sentido, la utilización de PGPR como bio-controladores para los nematodos parásitos de raíces en banano como *Pratylenchus* spp. actúan como promotores del crecimiento de las plantas sin alterar el equilibrio microbiológico del suelo (6,7), contribuyendo así con el desarrollo del sector bananero del Ecuador. Además, según lo planteado por Pineda-Escobar et al. (8) está comprobado la existencia de un sinergismo por la combinación de los biocontroladores de origen bacteriano para el control de *Pratylenchus* spp. lo cual favorece al incremento de la masa radicular y demás aspectos morfológicos y fisiológicos de la planta.

Por lo anteriormente expuesto, la Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la actividad antagonista de Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR) en el control de *Pratylenchus* spp. Con lo que se brinda mayor protección a los cultivos, garantizando producción sostenible, y de mayor importancia económica del Ecuador, minimizando el daño ambiental sobre el suelo y el agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en los laboratorios de Biotecnología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), localizado en el Campus

Universitario “Manuel Haz Álvarez” ubicado en el km 1.5 vía Quevedo – Santo Domingo, Ecuador. Sus coordenadas geográficas son 01° 01” de latitud Sur y 79° 47” de longitud Occidental, ubicada a una altura de 73 m.s.n.m, ya que las condiciones de clima y fundamentalmente la variabilidad de la humedad del suelo ejerce un factor fundamental para el desarrollo de las Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal.

Para realizar el estudio inicialmente se colectaron 5 submuestras al azar de 100 g de raíces de plantas madre e hijo de una plantación comercial de Baby Banana (*Musa paradisiaca*), ubicado en la finca el Paraíso, Cantón La Maná, Ecuador. Las muestras fueron llevadas en hieleras térmicas a una temperatura promedio de 4°C para el laboratorio de microbiología y biología de la UTEQ.

Para el aislamiento del nematodo *Pratylenchus spp*, las muestras de raíces fueron lavadas con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % por 30 s y se enjuagó con abundante agua destilada. Las raíces se cortaron en trozos de 4 cm de largo y se licuaron 100 g de raíces en 500 ml de agua por 1 min con un reposo de 10 min. La suspensión se vertió sobre un juego superpuesto de tamices marca Fisher de 500 μ m, 90 μ m y 25 μ m. Los restos de raíces retenidas en la criba de 90 μ m, se transfirieron al embudo de Baermann con filtro de papel, con 40 ml de agua. Pasadas las

48 horas, todas las formas activas de nematodos pasaron a través del filtro de papel y se recogidas en un pequeño volumen de agua (5-10 ml).

Para la identificación de *Pratylenchus spp*, se utilizaron las claves taxonómicas del género *Pratylenchus* propuestas por Loof (9), Handoo y Golden (10). En la identificación morfológica se empleó un microscopio OLYMPUS a 10X - 40X de magnificación para lo cual se tomaron 30 μ l de muestra transfiriendo a un vidrio de reloj para su observación, para establecer las características morfométricas de *Pratylenchus spp*. descritas por Filipjev y Schuurmans (11).

Para la actividad antagonista y promotora de crecimiento de las PGPR's en condiciones de invernadero. Se usó un sustrato con suelo, y turba en proporción 2:1 las mismas fueron solarizadas por la metodología descrita por Navarro (12). Se utilizó plantas meristemáticas *Musa acuminata* var. Williams. Las rizobacterias fueron procedentes del banco de germoplasma de la UTEQ y se seleccionaron por ser productoras de metabolitos antagonicos como se muestra en la Tabla 1. Las mismas reactivadas en 20 mL de KBL peptona de carne 20,0 g/L; glicerol 15,0 mL; fosfato dipotásico 1,5 g/L; sulfato de magnesio heptahidratado 1,5 g/L; agua destilada (pH 7,2), suplementado con chloramphenicol (13 μ g/mL), ampicilina (40 μ g/mL) por 48 h. El cultivo bacteriano se recuperó por sedimentación y se inoculó 10 mL (7,1E+8)

de forma individual en el medio M3 (melaza 20 g/L; harina de maíz 20 g/L; sal en grano 5,0 g/L y glicerina 7,0 mL con pH 6,5) durante 24 h en fermentadores de 2 L con entrada de aire. Durante 8, 15, 22, 35 y 45 Días Después del Trasplante (DDT), en los tratamientos con bacterias se inocularon 50 ml/planta de una solución al 10 % de consorcios bacterianos como se puede observar en la Tabla 2 y la aplicación del control químico (Rugby®) y absoluto (agua destilada) se aplicaron a los 30 DDT.

Posteriormente, 30 días después del trasplante se inocularon aproximadamente 12000 nematodos del género *Pratylenchus* spp

en los tratamientos correspondientes, alrededor del sistema radical se realizó perforaciones en el suelo para la inoculación. Los nematodos inoculados fueron extraídos de una plataforma de reproducción de discos de zanahoria (60%) y de raíces de una plantación infestada con 40% de nematodos del género *Pratylenchus* spp con la ayuda de una micropipeta, cuya solución de 10 mL fue aplicada alrededor de cada planta. Todas las plantas tuvieron una fertilización base mediante la aplicación de 5 g /planta del fertilizante completo NPK (10-30-10); esta labor se realizó a los 20, 30, 40 días. Durante el periodo experimental todas las plantas se mantuvieron en CC.

Tabla 1. Bacterias productoras de metabolitos antagonicos.

Cepas	Metabolitos antagonicos					Cultivo de procedencia
	Fluorescente	Proteasa	HCN	Pirrolnitrina	Catalasa	
<i>A. calcoeceticus</i> BMR2-12	+			+	+	Banano
<i>S. marcescens</i> PM3-8	++	+	+		+	Banano
<i>K. varicola</i> BO3-4	++	+	+	+	+	Banano
<i>P. veronii</i> R4	++		+	+	+	Uva

Variables evaluadas: A los 70 días después del trasplante (DDT) se evaluaron las siguientes variables; Peso total de raíces por planta, número de raíces totales, porcentaje de raíces funcionales y no funcionales, longitud de raíces primarias (cm) con la metodología de Karamura y Karamura (13). La densidad poblacional de *Pratylenchus* spp se evaluó por el método descrito por Fierro et al., (14). Para determinar la concentración de clorofila en

plantas se seleccionó la parte media de la hoja, las mismas fueron lavadas con agua destilada y alcohol al 70 °C durante un minuto. Para la extracción y cuantificación de clorofila se determinó mediante la técnica usada por Wintermans y De Mots (15).

Diseño experimental y análisis de los datos: El experimento de actividad antagonista de rizobacterias sobre *Pratylenchus* spp en invernadero se ejecutó un diseño completamente

al azar (DCA). Se realizaron cinco tratamientos con tres réplicas, se evaluaron 9 plantas por tratamiento. Los datos fueron sometidos al análisis de varianza (ANDEVA) y separados por procedimiento de comparación múltiple de Tukey, al nivel de significancia de ($p \leq 0,05$). Para el análisis se utilizó el software estadístico Infostat 2020.

colectadas del sistema radicular se identificó el ciclo de ovoposición de *Pratylenchus spp* (J1), de raíces infectadas del cultivar *M. paradisiaca* determinando su forma ovoide, alargados con longitudes de entre 84-99 μm y diámetros de entre 35-44 μm , con periodo de eclosión de los huevos de nematodos entre 8-10 días Figura 1.

RESULTADOS

Para la caracterización morfológica de nematodo *Pratylenchus spp* de las muestras

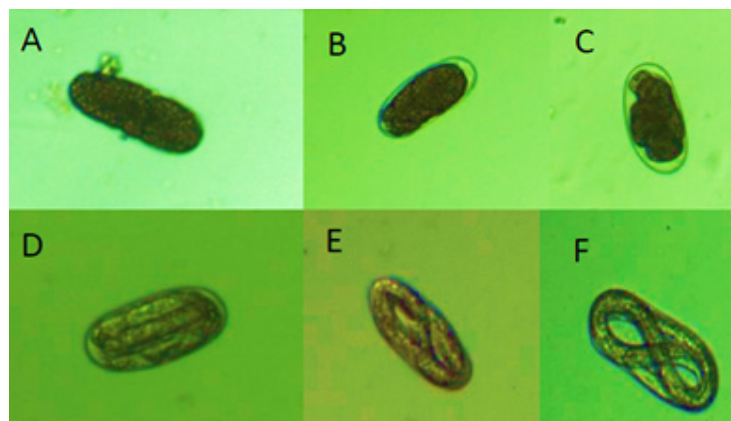


Figura 1. Fases de ovoposición de nematodos: **A.** Huevo de *Pratylenchus spp.* primeras horas de ovopositado; **B.** Desarrollo del nematodo en estadio J1, Huevo ovopositado primer día de edad (Etapa de mitosis); **C.** Huevo con 3 días de ovopositado, **D.** Huevo con 5 días de ovopositado, **E.** Huevo con 7 días de ovopositado, el nematodo está completamente desarrollado, **F.** Huevo de nematodo con 8 días de ovopositado, mostrándose el nematodo, con órganos y estructuras ya desarrolladas.

Se identificaron nematodos juveniles 2 (J2) del género *Pratylenchus spp.* en muestras de tejido radicular de *M. paradisiaca*. Los nematodos presentan características morfométricas y morfológicas específicas, incluyendo un cuerpo filiforme y elongado, una cabeza aplanada, un estilete bien desarrollado y una cola cónica pero redondeada al final. La hembra es más larga que el

macho, con longitudes que oscilan entre 340-810 micrómetros. La cabeza es angosta y suavemente redondeada, con un estilete fuertemente esclerotizado y ovarios ubicados entre el intestino y la vulva. La vulva se encuentra a un 70-80% de la longitud del nematodo y la cola es cónica pero redondeada al final Figura 2.

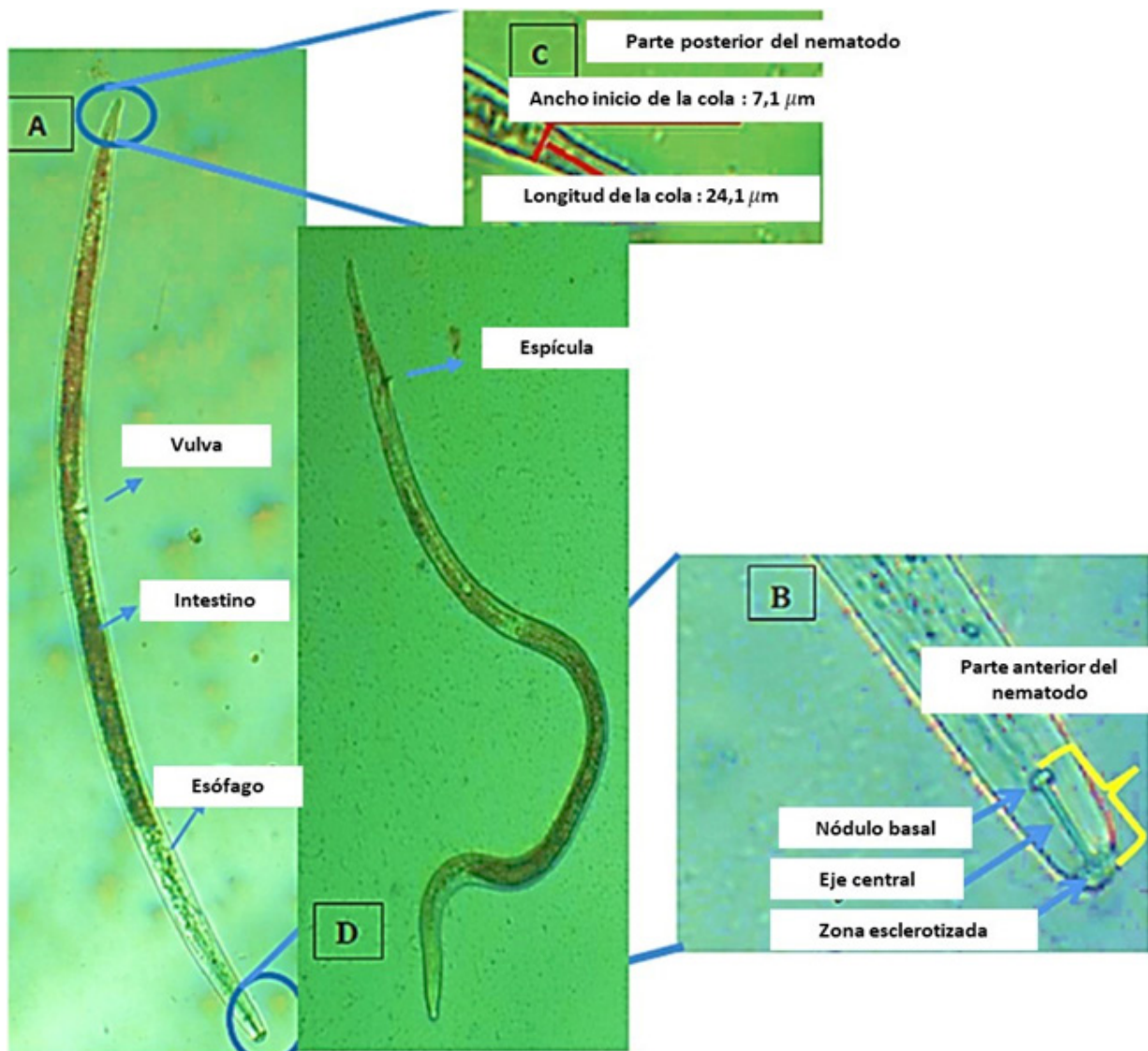


Figura 2. Características morfológicas de *Pratylenchus* J2 **A.** nematodo hembra, **B.** parte anterior del nematodo hembra, **C.** parte posterior del nematodo hembra. **D.** nematodo macho.

Para los caracteres morfológicos de las plantas de *M. paradisiaca* están influenciados por la inoculación de consorcio bacteriano, promoviendo mayor número de raíces e incrementando el peso radicular a diferencia de los controles. Se verificó la combinación (R4 - BMR2-12 – PM3-8) incremento

el número de raíces con 29,6 y el peso de raíces (164,7 g) en comparación a los demás tratamientos. La longitud no presentó diferencia estadística entre tratamientos, alcanzando una longitud que oscila entre 43,9 y 48,7 cm Tabla 2.

Tabla 2. Efectos de las combinaciones bacterianas sobre los caracteres morfológicos de las raíces.

Tratamientos	Número	Peso, g	Longitud, cm
R4 - BO3-4 - BMR2-12	27,2 ^{ab}	133,0 ^b	45,2 ^{bc}
R4 - PM3-8 - BO3-4	27,3 ^{ab}	137,2 ^b	48,7 ^a
R4 - BMR2-12 – PM3-8	29,6 ^a	164,7 ^a	46,7 ^b
Control Químico	21,0 ^{bc}	76,8 ^c	43,9 ^c
Control (Agua)	19,3 ^c	66,1 ^c	44,8 ^c
EE±	1,934	4,054	2,867
P	0,021	0,015	0,024

^{abc} Valores con letras no comunes difieren para $P < 0.05$ (Tukey).

La aplicación del consorcio bacteriano (R4-BO3-4- BMR2-12) incrementó significativamente el porcentaje de raíces funcionales en las plantas con 70.34% en comparación al Control (54,8%). Las combinaciones (R4-PM3-8-BO3-4) y (R4-BMR2-12–PM3-8) también mostraron resultados positivos, con 64,9 y 68% respectivamente. En contraste, las plantas sin inoculante bacteriano presentaron un porcentaje de raíces no funcionales significativamente mayor, con 45,5%. Esto demuestra que las rizobacterias, al tener su capacidad promotora de crecimiento incrementan la cantidad de raíces y la protección por la producción de metabolitos antagónicos, disminuyendo el número de raíces afectadas Tabla 3.

La aplicación de bacterias en consorcio (R4-BO3-4-BMR2-12) redujo la población de

nematodos en el sistema radicular y en el suelo en comparación al control con aplicación de agua. El control químico (Rugby) redujo la población de nematodos fitopatógenos en el suelo y raíces con 2250 nematodos/100 g de suelo y 2025 nematodos/50 g de raíces respectivamente. Sin embargo, la repuesta de (R4–BO3-4–BMR2-12) también mostró disminución con 3000 nematodos/100 g de suelo y 2025 nematodos/50 g de raíces. Las combinaciones (R4-BM2-12-PM 3-8) indujeron a un incremento a la clorofila total con 18,7 mg/cm² en comparación a los demás tratamientos. La menor concentración de clorofila total se obtuvo en las plantas sin inoculantes con 16,2 y 16,5 mg/cm² Tabla 4.

Tabla 3. Efecto de las combinaciones bacterianas sobre el desarrollo de las raíces.

Tratamientos	Raíces funcionales, %	Raíces no funcionales, %
R4 - BO3-4 - BMR2-12	70,3 ^a	29,7 ^c
R4 - PM3-8 - BO3-4	64,9 ^a	35,1 ^b
R4 - BMR2-12 – PM3-8	69,0 ^a	31,0 ^c
Control Químico	68,0 ^a	32,6 ^c
Control (Agua)	54,8 ^b	45,2 ^a
EE±	2,461	1,054
P	0,0356	0.0142

^{abc} Valores con letras no comunes difieren para P<0.05 (Tukey).

Estos resultados indican que la efectividad del control químico sobre la población de nematodos, aunque pueden afectar los indicadores aspectos morfológicos y fisiológicas de la planta, situación

contraria al uso de rizobacterias que incrementa el desarrollo radicular y disminuye la población de nematodos e incrementa la concentración de clorofila total Tabla 4.

Tabla 4. Efecto de las combinaciones bacterianas sobre la población de nematodos en suelo, raíces y clorofila total.

Tratamientos	Población nematodos en 100 g de suelo	Población nematodos en 50 g de raíces	Clorofila total (mg/cm ²)
R4 - BO3-4 - BMR2-12	3000 ^c	2100 ^b	21,7 ^a
R4 - PM3-8 - BO3-4	4350 ^b	2325 ^b	21,2 ^a
R4 - BMR2-12 – PM3-8	3600 ^c	2325 ^b	19,0 ^c
Control Químico	2250 ^d	2025 ^b	20,6 ^b
Control (Agua)	6750 ^a	5100 ^a	18,7 ^c
EE±	10,232	9,029	0,678
P	0,0145	0,0341	0,010

^{abc} Valores con letras no comunes difieren para P<0.05 (Tukey).

DISCUSIÓN

Las rizobacterias tienen una eficiencia en estimular el desarrollo radicular de las plantas, Sangoquiza-Caiza et al. (16) señalan que estos resultados son explicados por que los bioinoculante basados en cepas de *Azospirillum* y *Pseudomonas* tienen una alta capacidad de producir ácido

indolacético (AIA) provocando el desarrollo de las raíces y la elongación celular, está demostrado que existe influencia del *Azospirillum* en la formación de raíces laterales debido a la secreción de nitritos, a su vez la producción de AIA y la alta sensibilidad de las raíces a esta hormona son fundamentales para la respuesta a la inoculación de *Azospirillum*

y *Pseudomonas*, estas últimas aplicadas de manera exitosa en el desarrollo del cultivo de *M. paradisiaca*.

En el caso de la mayor longitud de raíces a juicio de Aguilar-Paredes et al., (17) se debe a que los consorcios bacterianos producen sustancias que pueden inducir la producción de la enzima 1-aminociclopropano 1-carboxilato desaminasa (ACC), que reduce el nivel de etileno en las raíces de los cultivos, mejorando así la longitud y densidad de las raíces, cuyo efecto benéfico se ve en una mayor capacidad de absorción de nutrientes y capacidad de exploración para captación de agua y fósforo.

Mientras que, los resultados reportados por López Aguilar et al. (18) fueron contrarios a los alcanzados en el actual estudio, ya que al usar rizobacterias productoras de cianuro de hidrogeno para el control de nematodos no encontraron cambios en el número de raíces funcionales, lo cual se debe según Aguirre et al. (19) a la fluctuación en el peso de las raíces funcional responden a variables climáticas (precipitación), a las condiciones edáficas y el manejo del cultivo, en este caso la mayor precipitación y suelo de clase textural arcilloso puede incidir en estas variables, además del daño que pueden ocasionar los nematodos.

De ahí que, uno de los efectos positivos del control de nematodos es la reducción del daño

a las raíces expresado por el número de raíces no funcionales, sin embargo los resultados muestran que el porcentaje de raíces no funcionales superan el 20 % que fue reportado por (20) en tratamiento con nematicidas, pero se debe destacar que además del daño causado por el nematodo un porcentaje importante de raíces no funcionales, puede ser explicado al contenido de arcilla, dado que muy pesados con continuos turnos de riego pueden causar pudrición de la masa radicular en los primeros 15 cm del suelo (21).

La reducción del daño aumenta el número de raíces, especialmente las funcionales como consecuencias del efecto antagónico de los consorcios bacterianos, lo cual es explicado por la inducción de mecanismos de defensa por parte de las rizobacterias (22), así como las secreciones de compuestos con cualidades inhibitorias que podrían llegar hasta una reducción del 60% de la población de nematodos (23).

En este sentido, Avellán-Vásquez (24) las fitohormonas como las citoquinas que mejoran la reproducción de los tejidos vegetales madre, además ayuda a la proliferación y división celular, lo que se manifiesta en un mayor desarrollo vegetativo, que en este caso se manifiesta como pseudotallos más largos, que además de controlar el crecimiento de las bacterias promotoras del crecimiento utilizadas de forma sinérgica, ayudando en el control del nematodo *Pratylenchus*.

Por su parte, Niola et al. (25) Estos resultados son contrarios a los obtenidos en la investigación desarrollada por en la cual el tratamiento donde se incorporaba rizobacterias + biocarbón aportó los mejores resultados manifestándose con una emisión foliar de 0,9 hoja por semana, lo que demuestra que el uso de consorcios microbianos es promisorios para promover el desarrollo foliar en comparación a otros tratamientos con biochar o incluso donde se propone el uso de microorganismos, cuya eficiencia depende además de las condiciones ambientales y de la adaptación de la cepa que se inocula a la rizósfera (26).

Con la reducción de las poblaciones de nematodos se debe a que los bioformulados poseen la capacidad de secretar metabolitos antagónicos tales como PR (Proteasa), HCN (Cianuro de hidrógeno) y Prn (Pirrolnitrina), los cuales tienen efecto antagónico sobre las poblaciones de nematodos según Martínez et al., (27), lo cual fue demostrado de manera satisfactoria en un investigación llevada a cabo por Macías Holguín et al. (28) bajo las mismas condiciones de estudio, donde la producción de compuestos bioactivos lograban controlar enfermedades fitopatógenas como *R. similis*.

Los niveles de clorofila fueron similares a los obtenidos por Ávila-Campoverde et al., (29), quienes encontraron un aumento en el contenido de clorofila, debido a la estimulación del enraizamiento por ácidos húmicos y algas

marinas, aunque estos investigadores no midieron las poblaciones microbianas, está comprobado que este tipo de bioformulados incrementan la actividad microbiana y la diversidad de organismo benéficos en la rizosfera lo que sugiere un mayor vigor y salud de las plantas, producto de la acción de las bacterias promotoras del crecimiento.

CONCLUSIONES

La mejor combinación bacteriana en los ensayos en campo para el control de *Pratylenchus* fueron las cepas *P. veronii* (R4), *A. calcoaceticus* (BM2-12) y *S. marcescens* (PM3-8) en la cual se obtuvo el mayor control de nematodos. Además de aumentar la longitud, peso de raíces funcionales y la concentración de clorofila total, lo cual se refleja en un mayor desarrollo en las plantas de banano.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. León L, Arcaya M, Barbotó N, Bermeo Y. Ecuador: Análisis comparativo de las Exportaciones de banano orgánico y convencional e incidencia en la Balanza Comercial, 2018. Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU), 2020; 7(2), 38-46. <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i2.521>
2. Nyang'au D, Atandi J, Cortada L., Nchore S, Mwangi M, Coyne D. Diversity of nematodes on banana (*Musa* spp.) in Kenya linked to altitude and with a focus on the pathogenicity of *Pratylenchus goodeyi*. Nematology, 2021, 24(2), 137-147. https://brill.com/view/journals/nemy/24/2/article-p137_2.xml

3. Mehmood N, Khanum T. Description of *Pratylenchus siddiqi* n. sp. from banana (*Musa acuminata* L.) Malir Cantt, Karachi, Sindh, Pakistan. *Plant Protection*. 2021; 5(2), 89-93. Available: <https://doi.org/10.33804/pp.005.02.3667>
4. Desaegeer J, Wram C, Zasada I. New reduced-risk agricultural nematicides-rationale and review. *Journal of Nematology*. 2020; 52(1), 1-16. <https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-091>
5. Liu G, Lin X, Xu S, Liu G, Liu F, Mu W. Screening, identification and application of soil bacteria with nematicidal activity against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on tomato. *Pest management science*. 2020; 76(6), 2217-2224. <https://doi.org/10.1002/ps.5759>
6. Beltran-Garcia M, Martinez-Rodriguez A, Olmos-Arriaga I, Valdez-Salas B, Chavez-Castrillon Y, Di Mascio P, White J. Probiotic endophytes for more sustainable banana production. *Microorganisms*. 2021; 9(9), 1805. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091805>
7. Araújo R, Ribeiro M, Rodrigues F, Silva B, Dória J Pasqual M. Association of growth-promoting bacteria and hydroponic system aiming at reducing the time of production of banana seedlings. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2023; 69(8), 1209-1222. <https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2078965>
8. Pineda-Escobar M, Prodan S, Castaneda-Alvarez C, Aballay E. Plant growth-promoting rhizobacteria for protecting walnut plants from root-lesion nematode (*Pratylenchus vulnus*). *European Journal of Plant Pathology*. 2023;.167(4), 801-809. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02768-y>
9. Loof A. The genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (Nematoda: Pratylenchidae): a review of its anatomy, morphology, distribution, systematics and identification (pp. iv+-50). 1978; [<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19790855475>]
10. Handoo Z, Golden A. A key and diagnostic compendium to the species of the genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (lesion nematodes). *Journal of Nematology*. 1989. 21(2), 202. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2618922/pdf/202.pdf>
11. Filipév I, Stekhoven H. A manual of agricultural helminthology. Brill Archive.1959. https://books.google.co.ve/books?id=v8YUAAAIAAJ&source=gbs_navlinks_s
12. Navarro J. Efecto de la solarización del suelo sobre la población de malezas y del hongo *Rhizoctonia solani* durante la estación lluviosa en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 1989; 15. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64735a19e17b74d2225131fb>
13. Karamura E, Karamura D. Banana morphology—part II: the aerial shoot. In *Bananas and plantains* (pp. 190-205). Dordrecht: Springer Netherlands. 1995. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-0737-2_8
14. Fierro A, Draguiche J, Ramírez T. Evaluación de nuevos híbridos y selecciones de bananos (*Musa* spp.) frente a nematodos fitopatógenos. *Centro Agrícola*. 2006; 33(1), 27. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V33-Numero_1/cag061061468.pdf
15. Wintermans F, De Mots A. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their phenophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biophysics including Photosynthesis*. 1965;.109(2), 448-453. [https://doi.org/10.1016/0926-6585\(65\)90170-6](https://doi.org/10.1016/0926-6585(65)90170-6)
16. Sangoquiza-Caiza C, Zambrano-Mendoza J, Borgues-García M, Cho K. RESPONSE OF FLOUR CORN (*Zea mays* L. var. *Amylacea*) TO THE. 2024;.39(1). <http://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.09>
17. Aguilar-Paredes A, Valdés G, Nuti M. Ecosystem functions of microbial consortia in sustainable agriculture. *Agronomy*. 2020; 10(12), 1902. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121902>
18. López-Aguilar C, Barrezueta-Unda S, Aguilar E. Efecto de hongos entomopatógenos para el control de nematodos en el sistema radicular del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*. 2022; 10(3), 107-114. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/568>

- 19.** Aguirre O, Chávez C, Giraud A, Araya M. Frequencies and population densities of plant-parasitic nematodes on banana (*Musa* AAA) plantations in Ecuador from 2008 to 2014. *Agronomía colombiana*. 2016; 34(1), 61-73. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1.53915>
- 20.** Vargas-Calvo A. Efecto del desmane intensivo sobre el desarrollo del racimo de banano. *Agronomía Mesoamericana*. 2014; 25(1), 85-98. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v25n1/a09v25n1.pdf>
- 21.** Lazo Y, Moreno A, Olivo G, Valencia E, Crespo Y, Quintana Y. (2017). Efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en la producción de *Musa paradisiaca* variedad valery. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 2017. 6(3), 191-200. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6413707>
- 22.** Kisaakye J, Fourie H, Coyne D, Cortada L, Khamis F, Subramanian S, Haukeland S. Endophytic fungi improve management of the burrowing nematode in banana (*Musa* spp.) through enhanced expression of defence-related genes. *Nematology*. 2023; 25(4), 427-442. <https://doi.org/10.1163/15685411-bja10229>
- 23.** Crespo-Clas Á, Canchignia-Martínez H, Fiallos R. Nematodes and root system are affected by rhizobacterial consortium in the third generation of commercial banana plants. *Revista de agricultura neotropical*. 2023. 10(3), e7725-e7725. <https://doi.org/10.32404/rean.v10i3.7725>
- 24.** Avellán-Vásquez L, Alcívar-Vite S, Pazmiño-Anzules A, Cedeño-Zambrano J. Citoquininas en el crecimiento de cultivares de plátano *Musa* AAB en el primer ciclo de producción. *La técnica*. 2023. 13(1), 24-29. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/view/5785/7027>
- 25.** Niola J, Guerrero N, Batista M, León J. Efectos de dos enmiendas edáficas sobre parámetros agronómicos de producción en banano (*Musa* X *paradisiaca* l.). *Revista Científica Agroecosistemas*. 2021. 9(3), 104-118. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/499>
- 26.** Cevallos-Jungal G, León I, Guerrero N, Batista M. Efectos del biocarbón y microorganismos eficientes en las fases fenológicas del cultivo de banano. *Metropolitana de Ciencias Aplicadas*. 2024. 7(1), 287-294. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9288340>
- 27.** Martínez H, Chávez-Arteaga K, Guato-Molina J, Peñafiel-Jaramillo M, Mestanza-Uquillas C. Bacterias fluorescentes productoras de metabolitos antagonísticos de cultivares nativos de *Musa* sp. y su diversidad filogenética al gen ARNr 16S. *Ciencia y Tecnología*. 2018. 11(2), 17-29. <https://doi.org/10.18779/cyt.v11i2.204>
- 28.** Macías C, Padilla C, Quintana N, Martínez F, Moreira V, Gonzales E. Efecto de bioformulados bacterianos como controladores de *Radopholus similis* y potenciadores del desarrollo de plántulas de banano (*Musa acuminata*) cultivar Williams. *Revista Ciencia y Tecnología*. 2023. 16(2), 9-16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9617497>
- 29.** Ávila E, Paredes S, Ortiz D, Batista M. Dinámica del desarrollo vegetativo del cultivo de banano mediante estimulación radical bajo riego por aspersión. *Metropolitana de Ciencias Aplicadas*. 2024; 7(1), 206-213. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9288323>