

Efecto estimulador del crecimiento de *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 en plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006

Mileidy Cruz-Martín^{1*}^a, Ernesto Rocha-Rodríguez^{1,2}^a, Mayra Acosta-Suárez¹, Eloísa Rodríguez¹, Tatiana Pichardo¹, Berkis Roque¹, Yelenys Alvarado-Capó¹

¹Instituto de Biotecnología de las Plantas, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP 54 830.

²Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP 54 830.

RESUMEN

Entre las cepas bacterianas que se han seleccionado por su empleo potencial como promotores del crecimiento en *Musa* spp. se encuentra la cepa *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 la cual fue aislada de la filosfera de este cultivo. Los metabolitos de esta cepa inhiben el crecimiento *in vitro* de *Pseudocercospora fijiensis*. Además, tiene efecto promotor del crecimiento en la aclimatización de *Musa* sp. cv. `Grande naine`. Sin embargo, se requiere demostrar el efecto de esta cepa bajo otras condiciones de cultivo y en otros cultivares de interés. El trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de *B. pumilus* CCIBP-C5 en la respuesta morfológica y fisiológica de plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006 aclimatizadas. Se aplicó una suspensión bacteriana ($DO_{600nm} = 0.1$) por inmersión de raíces y se plantaron en bolsas con dos tipos de suelo. Las evaluaciones se realizaron hasta los 70 días de cultivo y se determinaron variables morfo-fisiológicas y varios índices de crecimiento vegetal. Como resultado se observó un efecto promotor del crecimiento de *B. pumilus* CCIBP-C5 sobre las plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006. Se obtuvo un 100% de supervivencia de las plantas a los 14 días con la aplicación de *B. pumilus* CCIBP-C5 en ambos tipos de suelo. En estos tratamientos se observaron los mayores valores de masa fresca y seca respecto al control. Además, se pudo comprobar que el tipo de suelo tuvo una influencia en el desarrollo de las plantas así como en el efecto de *B. pumilus* CCIBP-C5 sobre las plantas. Se observó un mejor crecimiento de las plantas en el suelo ferralítico rojo respecto al pardo con carbonato. Esta cepa constituye una candidata potencial para la generación de bioproductos para la aclimatización de plantas de *Musa* spp.

Palabras clave: *Bacillus*, bioproducto, *Musa* spp., promoción del crecimiento, suelo

Growth stimulating effect of *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 on acclimatized banana plants cv. INIVIT Pb-2006

ABSTRACT

Bacillus pumilus CCIBP-C5 strain is found among the bacterial strains that have been selected for their potential use as growth promoters in *Musa* spp., it was isolated from the phyllosphere of this culture. The metabolites of this strain inhibit the *in vitro* growth of *Pseudocercospora fijiensis*. It also has a growth-promoting effect on the *Musa* sp. cv. `Grande naine` acclimatization. However, it is required to demonstrate the effect of this strain under other culture conditions and in other

Editora:

Yelenys Alvarado Capó
Instituto de
Biotecnología de las
Plantas, Universidad
Central Marta Abreu de
Las Villas.

*Correspondencia:

e-mail:
mileidy@ibp.co.cu

^aEstos autores
contribuyeron al trabajo
por igual.

Recibido: 16-09-2021

Aceptado: 09-12-2021

Copyright:

Este es un artículo de
acceso abierto
distribuido bajo una
Licencia Creative
Commons Atribución-
NoComercial 4.0
Internacional (CC BY-NC
4.0)
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

cultivars of interest. The aim of this work was to evaluate the effect of the application of *B. pumilus* CCIBP-C5 strain on the morphological and physiological response of banana plants cv. INIVIT Pb-2006. A bacterial suspension ($DO_{600nm} = 0.1$) was applied by root immersion and they were planted in pot in two types of soil. The evaluations were carried out up to 70 days of cultivation and morpho-physiological variables were determined, as well as various plant growth index. As a result, a growth promoting effect of *B. pumilus* CCIBP-C5 on banana plants cv. INIVIT Pb-2006. was observed. A 100% plant survival was obtained at 14 days with the application of *B. pumilus* CCIBP-C5 in both types of soil. In these treatments, the highest values of fresh and dry mass were observed with respect to the control. In addition, it was possible to verify that the type of soil had an influence on the development of the plants as well as on the effect of *B. pumilus* CCIBP-C5 on the plants. A better growth of the plants was observed in the red ferralitic soil compared to the brown one with carbonate. This strain constitutes a potential candidate for the generation of bioproducts for the plants of *Musa* spp. acclimatization.

Keywords: *Bacillus*, bioproduct, *Musa* spp., growth promotion, soil

INTRODUCCIÓN

Entre las alternativas para hacer frente al rápido aumento de la población mundial en las últimas décadas, las biotecnologías agropecuarias aportan soluciones relacionadas con el desarrollo de bioproductos a partir de microorganismos. Estos tienen como principales ventajas de su aplicación el aumento de la disponibilidad de nutrientes en el suelo que luego pueden ser fácilmente asimilados y absorbidos por las plantas, la protección de las plantas en condiciones de estrés, la producción de compuestos tales como reguladores de crecimiento, sideróforos, ácidos orgánicos y el incremento de la sanidad de los cultivos (Dhawi *et al.*, 2015; Yadav *et al.*, 2020). De igual forma, pueden tener influencia directa sobre el metabolismo de la planta (aumento de la capacidad de toma de agua y nutrientes), su desarrollo radicular y la actividad enzimática. Además, pueden tener efecto a través de la reducción de poblaciones de microorganismos patógenos o activación de mecanismos de defensa en las plantas (Etesami y Alikhani, 2016).

Sin embargo, la eficiencia de los bioproductos dependen de muchos factores entre los que se encuentran además de la cepa, el ambiente en el cual se aplica así como el cultivo diana. Según Pérez-Jaramillo *et al.* (2018) el microbioma asociado a diferentes plantas varía en dependencia del cultivo, el suelo y el ambiente. No todas las cepas de una especie microbiana se comportan de la misma forma en cuanto a su atracción por los exudados de las raíces de una especie vegetal. Estas diferencias se deben tanto a las peculiaridades de las plantas como a las características del microorganismo. Los bioproductos a base de cepas microbianas necesitan para ejercer su acción, establecerse, multiplicarse y desarrollar su potencial en variados tipos de ambiente. Por ello, el sustrato en el que se aplican los bioproductos puede tener implicación en el establecimiento de la cepa debido a las condiciones físico-químicas de este así como al microbioma pre-establecido en el mismo.

Siguiendo las políticas del país en cuanto a la sustitución de importaciones y la disminución de uso de insumos químicos en la agricultura, hace varios años el

Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP) lleva a cabo investigaciones relacionadas con el aislamiento y la caracterización de microorganismos nativos con propiedades de promoción del crecimiento. De estas investigaciones se cuenta con una colección de cepas de hongos y bacterias antagonistas de diferentes hongos fitopatógenos de interés agrícola, capaces de promover el crecimiento de especies vegetales. En tal sentido, la búsqueda de alternativas para el manejo de *Musa* spp. ha centrado muchas de estas investigaciones. Dicho cultivo constituye un renglón priorizado en el programa alimentario nacional por la posibilidad de su producción en todos los meses del año, su elevado potencial productivo, el arraigado hábito de consumo y la diversidad de usos.

Entre las cepas bacterianas que se han seleccionado por su empleo potencial como promotoras del crecimiento en *Musa* spp. se encuentra *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 la cual fue aislada de la filosfera de este cultivo (Poveda *et al.*, 2010). Los metabolitos de esta cepa inhiben el crecimiento *in vitro* de *Pseudocercospora fijiensis* (Cruz-Martín *et al.*, 2017), que es el principal hongo fitopatógeno que afecta los bananos y plátanos a nivel mundial, así como tiene efecto en el desarrollo de la Sigatoka negra en plantas inoculadas artificialmente (Cruz-Martín *et al.*, 2018). Además, en estudios previos (Cruz-Martín *et al.*, 2015) se demostró que CCIBP-C5 tiene efecto promotor del crecimiento en la aclimatización del cv. 'Grande naine' (*Musa* AAA). Sin embargo, se requiere demostrar el efecto de esta cepa bajo otras condiciones de cultivo y en otros cultivares de interés.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, el trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de *B. pumilus* CCIBP-C5 en la respuesta morfológica y fisiológica de plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006 aclimatizadas. Se evaluó la cepa en la aclimatización de plantas procedentes del cultivo *in vitro* de este cultivar en dos tipos de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y cepa bacteriana

Se utilizó la cepa *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 de la Colección de Cultivos Microbianos del IBP para inocular plantas del cultivar de banano INIVIT Pb-2006, procedentes del cultivo *in vitro*, en fase de enraizamiento.

Condiciones de cultivo

Para la aclimatización de las plantas *in vitro* se empleó suelo Pardo con carbonatos (suelo 1) y suelo Ferralítico rojo (procedente de Quemado de Güines, Villa Clara) (suelo 2) (Hernández *et al.*, 2015) (Tabla 1). Ambos ligeramente ácidos (NC-ISO-10390, 1999), el suelo pardo con carbonatos con un contenido mediano de materia orgánica (MO)(NC-51,1999), medio de fósforo (NC-52, 1999), muy alta conductividad eléctrica (CE), factor de estructura (FE) excelente (Vageler y Alten, 1931), agregados estables (AE) regular (Henin *et al.*, 1958) y un coeficiente de permeabilidad (Perm.) excelente (Henin *et al.*, 1958). El suelo ferralítico rojo con un bajo contenido de materia orgánica, alto de fósforo, alta conductividad eléctrica, FE bueno, AE malo y permeabilidad excelente (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los suelos empleados para la aclimatización de plantas de *Musa* sp. cv. INIVIT Pb-2006.

Suelo	pH		P (mg/100g)	MO (%)	Conductividad (μ S/cm)	Perm. (Log10k)	FE (%)	AE
	KCl	H ₂ O						
Pardo con carbonato	5.22	6.35	0.79	3.2	4.00	3.17	85.99	57.30
Ferralítico Rojo	5.55	6.40	2.43	1.6	2.35	2.09	63.11	36.06

Preparación del inóculo bacteriano

El inóculo bacteriano se obtuvo a partir de un cultivo puro conservado a 4 °C. Se seleccionaron colonias con idénticas características, se resuspendieron en agua desionizada estéril y la suspensión resultante se ajustó a $DO_{600nm} = 0.1$ ($\sim 5 \times 10^9$ ufc ml^{-1}) en espectrofotómetro (Eppendorf). A partir de esta suspensión se inoculó 1 ml en Erlenmeyers de 250 ml de capacidad con 100 ml de medio de cultivo Caldo Nutriente. Se incubó durante 24 horas (120 rpm y 30 °C) y posteriormente se centrifugó a 10 000 rpm por 15 minutos (Eppendorf Centrifuge 5810 R) y se descartó el sobrenadante. Las células resultantes se resuspendieron en agua desionizada estéril y se ajustó la concentración a densidad óptica $DO_{600nm} = 0.1$.

Inoculación y condiciones de cultivo

Las plantas *in vitro* se extrajeron de los frascos de cultivo, se lavaron con abundante agua para eliminar los restos de medio de cultivo y se inocularon por inmersión de raíces en la suspensión bacteriana durante 60 min. Posteriormente, se plantaron en bolsas de polietileno negro (500 g) con cada tipo de suelo. Como control se emplearon plantas con inmersión de las raíces en agua para un total de cuatro tratamientos con 15 plantas cada uno.

Las plantas fueron colocadas en casa de cultivo por 70 días donde el riego fue por aspersión tres veces al día durante 5 min, iluminación solar y la temperatura media durante el día fue de $30 \pm 2^\circ C$ y la humedad relativa del $80 \pm 5\%$.

Evaluaciones

A los 14 días después de plantadas se evaluó la supervivencia. El resto de las evaluaciones se realizaron a los 0, 21 y 70 días posteriores a la aplicación de la bacteria mediante las variables: número de hojas, altura de la planta (cm), masa fresca de la planta (g), masa fresca y seca foliar (g), masa fresca y seca de la raíz (g) y área foliar y radical (cm^2). El área se calculó mediante el programa de procesamiento de imagen *ImagenJ* versión 1.50. Para medir la altura de la planta se utilizó una regla graduada, para la determinación de la masa se utilizó balanza analítica (*Sartorius*) y para la masa seca se utilizó estufa a 60 °C hasta lograr peso constante.

También se calcularon los índices de crecimiento: tasa de crecimiento absoluto (TAC) y la tasa de asimilación neta (TAN) según las siguientes fórmulas:

$$TAC = (P_2 - P_1) / (t_2 - t_1)$$

$$TAN = (P_2 - P_1) (\ln A_2 - \ln A_1) / (A_2 - A_1) (t_2 - t_1)$$

donde P_1 y P_2 ; A_1 y A_2 son las masas y las áreas en los tiempos 1 y 2.

Análisis estadístico

Se empleó el software SPSS versión 23. Los datos se sometieron a pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas y se emplearon pruebas no paramétricas para un nivel de significación de 5%.

RESULTADOS

La aplicación de *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 mediante inmersión de raíces tuvo efecto estimulador del crecimiento en plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006 en fase de aclimatización. Este efecto fue observado en ambos tipos de suelo empleados, sin embargo, se encontraron diferencias en el desarrollo de las plantas entre ellos. A los 14 días de plantadas en los dos suelos la supervivencia fue de 100% para los tratamientos donde se aplicó *B. pumilus* CCIBP-C5 y en el tratamiento control del suelo rojo. Sin embargo, en el control del suelo pardo existió un 20% de plantas muertas.

Durante el periodo evaluado se observó un mejor crecimiento de las plantas en el suelo ferralítico rojo respecto al suelo pardo utilizado tanto en los controles como en las plantas inoculadas (Figura 1).

Ya a los 14 días de plantadas se encontraron diferencias en la altura de las plantas para ambos tipos de suelo (Figura 2) siendo significativamente superior en los tratamientos con suelo ferralítico rojo desde los 14 hasta los 50 días de evaluación. Sin embargo, en el suelo Pardo se observó un efecto positivo en este indicador con el empleo de *B. pumilus* CCIBP-C5, ya que existieron diferencias significativas respecto al tratamiento control en este mismo suelo desde los 14 días.

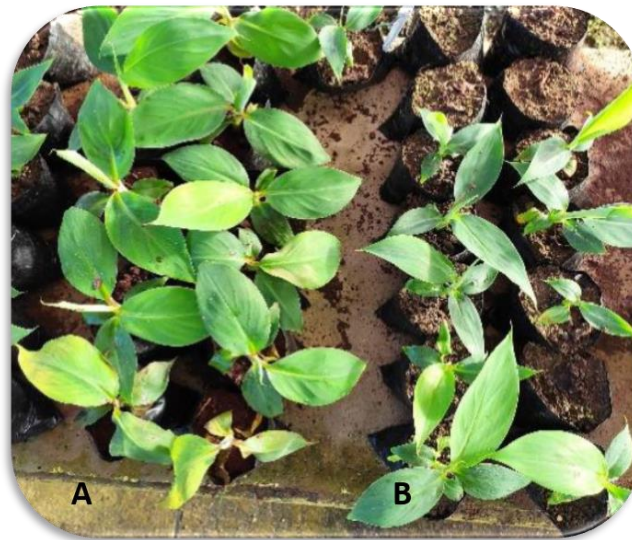
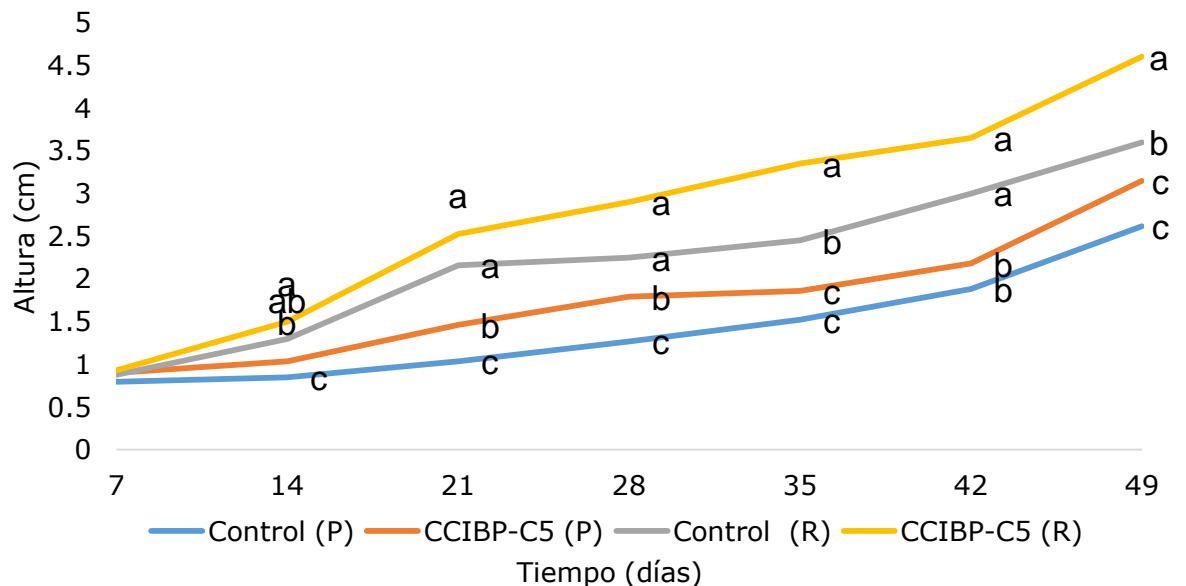


Figura 1. Plantas del banano cv. INIVIT Pb-2006 en casa de cultivo a los 50 días de aclimatización con dos tipos de suelo A. suelo Ferralítico rojo, B. Pardo (tratamientos controles).

A los 70 días, se pudo observar que la aplicación de *B. pumilus* CCIBP-C5 tuvo efecto promotor del crecimiento en las plantas banano cv. INIVIT Pb-2006 y este fue evidente en los dos tipos de suelo empleados (Tabla 2).

El incremento en la masa seca de las plantas es uno de los criterios más importantes para evaluar crecimiento vegetal. En los tratamientos donde se aplicó *B. pumilus* CCIBP-C5, para ambos suelos, a los 70 días, se observaron los mayores valores en la masa fresca y seca de las plantas con diferencias significativas respecto al tratamiento control.



Letras diferentes en un mismo tiempo indican diferencias significativas por prueba de Kruskal-Wallis/Mann Whitney para $p < 0.05$, $n = 15$

Figura 2. Altura de plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006 inoculadas con *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 en dos tipos de suelo. (P) suelo pardo, (R) suelo ferralítico rojo.

Tabla 2. Efecto de *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 sobre el crecimiento en plantas de banano INIVIT Pb-2006 a los 70 días de cultivo en dos tipos de suelo.

Tratam.	Altura (cm)	No. Hojas	Masa Foliar (g)		Masa raíces (g)		TAC (g d ⁻¹)	TAN (g m d ⁻¹)
			Fresca	Seca	Fresca	Seca		
P Control	3.8	3.4 b	2.24 b	0.38 b	1.06 b	0.23 b	0.0081	0.0284
P CCIBP-C5	4.0	4.4 a	3.32 a	0.54 a	1.98 a	0.5 a	0.0132	0.0346
R Control	4.86 b	5.8	0.94b	0.38b	0.63 b	0.17 b	0.0075	0.0757
R CIBP-C5	6.63 a	5.7	2.96 a	1.8 a	2.61 a	1.1 a	0.0424	1.1528

Letras diferentes en una misma columna y mismo tipo de suelo indican diferencias significativas por prueba de H de Kruskal-Wallis/ U de Mann Whitney para $p < 0.05$ y $n = 15$, (P) suelo pardo (R) suelo ferralítico rojo. (TAN) tasa de alimentación neta. (TAC) tasa de crecimiento absoluto

También se observó un incremento significativo de la masa de las raíces en los tratamientos donde la cepa bacteriana fue aplicada respecto al control.

Así mismo, en el suelo ferralítico rojo, se observó un incremento de un 36.4% en la altura de las plantas cuando se les aplicó CCIBP-C5. Además, la tasa de asimilación neta (TAN), que se puede considerar un estimador de la actividad fotosintética, fue superior en un 8.1% respecto al control cuando se aplicó la cepa CCIBP-C5 sobre suelo Ferralítico rojo.

DISCUSIÓN

Una de las fases más importantes de la propagación de *Musa* spp. por vía biotecnológica es la aclimatización. En esta fase, las plantas son removidas del cultivo *in vitro* y plantadas en condiciones semicontroladas sobre sustrato. Sin embargo, durante esta fase las plantas aún presentan bajas reservas de nutrientes, raíces muy frágiles y poco funcionales lo cual puede contribuir a una baja supervivencia de estas en condiciones *ex vitro*. Es por ello, que se requiere para la producción de plantas con calidad, proveerlas de nutrientes mediante fertilización química, orgánica o biológica (Nomura *et al.*, 2012). La asociación de estas con microorganismos promotores del crecimiento es una alternativa importante que puede favorecer la aclimatización y su productividad (Marín-Guirao *et al.*, 2016; Nephali *et al.*, 2020). También estos microorganismos pueden jugar un rol de protección frente al estrés abiótico al cual son sometidas estas plantas en el cambio de las condiciones *in vitro* a *ex vitro* (Marín-Guirao *et al.*, 2016, Martins *et al.*, 2018; Goswami y Deka, 2020).

En este estudio *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 mostró una influencia positiva en el crecimiento de las plantas de banano cv. INIVIT Pb 2006. Teniendo en cuenta estos resultados se puede inferir que la cepa aplicada logró establecerse en la rizofera de las plantas y/o colonizar las raíces del cv. INIVIT Pb-2006 bajo las condiciones ensayadas y en ambos tipos de suelo. En varias especies de *Bacillus* se les ha detectado la presencia de genes que codifican para la producción de lipopéptidos, estos compuestos tienen actividad antimicrobiana, actividad biosurfactante que es crucial en la eficiente colonización de la raíz y la formación de biopelículas (Tsolakidou *et al.*, 2019). En estudios previos se pudo demostrar la producción de compuestos tipo lipopéptidos de esta cepa y de enzimas líticas tipo quitinasas (Cruz-Martín *et al.*, 2017). Ambos tipos de compuestos han sido referidos en la literatura científica con actividad antimicrobiana, por lo que su producción por parte de *B. pumilus* CCIBP-C5 puede favorecer la supervivencia de estas sobre los microorganismos presentes en la rizosfera y el éxito en la colonización de las plantas. Dentro de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, el género *Bacillus* es el más estudiado. Su capacidad de generar esporas incrementa su supervivencia y su competitividad en condiciones adversas. Este género bacteriano asiste a las plantas en sus mecanismos de defensa frente a hongos fitopatógenos e incrementa su tolerancia al estrés (Hashem *et al.*, 2016).

En los 14 primeros días después de la inoculación, *B. pumilus* CCIBP-C5 no tuvo efecto sobre las plantas de INIVIT Pb-2006 (Figura 2). Los microorganismos cuando se inoculan a las plantas requieren de un tiempo para colonizar las raíces, adaptarse a las nuevas condiciones y producir un efecto visible sobre las plantas (Timmusk *et al.*, 2017). Sin embargo, las condiciones asépticas del cultivo *in*

vitro podría favorecer la colonización de las raíces por la cepa inoculada cuya suspensión contenía un elevado número de células (aprox. 10^9 ufc ml⁻¹) en detrimento de microorganismos que se encuentran en los suelos donde se aclimatizaron las plantas.

Así mismo, se pudo comprobar que el tipo de suelo tuvo una influencia en el desarrollo de las plantas así como en el efecto de *B. pumilus* CCIBP-C5. La supervivencia de un 80% de las plantas a los 14 días en el tratamiento control en el suelo pardo con carbonato y el menor desarrollo de las plantas en este suelo en comparación con el ferralítico rojo pudo estar relacionado, entre otros factores, con la concentración de fósforo menor de 1 mg/100g registradas en este suelo. El fósforo es esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas ya que juega un rol crucial en diferentes procesos tales como la división celular, la fotosíntesis, la degradación de azúcares, el transporte de nutrientes y la regulación de las vías metabólicas (Bagyaraj *et al.*, 2015). También estos resultados pudieran deberse a la salinidad del suelo (4.0 μ S/cm). Según Yadav *et al.* (2021) sustratos con valores de CE > 1 son considerados salinos y pueden afectar el crecimiento de las plantas. Autores como Singh *et al.* (2016), plantearon que un incremento de la conductividad eléctrica del suelo, hace más propensas a desnaturalización a enzimas que catalizan reacciones bioquímicas que son parte integral del ciclo de nutrientes en el suelo.

En presencia de *B. pumilus* CCIBP-C5 la supervivencia en el suelo pardo alcanzó un 100% y el crecimiento posterior de estas plantas fue significativamente superior que en el control. Estos resultados pudieran estar asociados a un cambio de las características del suelo provocado por la presencia de *B. pumilus* CCIBP-C5. Las propiedades fisicoquímicas del suelo están fundamentalmente relacionadas con los microorganismos presentes en la rizosfera y en los ambientes cercanos (Yadav *et al.*, 2021). Estos microorganismos bajo determinadas condiciones liberan una gran cantidad de enzimas como invertasas, fosfatasas, sulfatasas y β -glucosidasas, las que son atributos fundamentales en la productividad del suelo. Estas enzimas son capaces de aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas y contribuyen a la fertilidad de los suelos por lo que incrementan la sanidad de los cultivos y su productividad (Ghosh *et al.*, 2020). Teniendo en cuenta los resultados observados, se puede inferir que *B. pumilus* CCIBP-C5 indujo cambios en las propiedades del suelo que permitió una mayor supervivencia de las plantas y un incremento significativo en la masa de las plantas y el número de hojas a los 70 días posteriores a su aplicación. Similares resultados fueron referidos por Yadav *et al.* (2021) quienes encontraron una correlación positiva entre la mejora en las características fisicoquímicas del suelo, un aumento en el crecimiento de las plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) y en la biofortificación de las semillas con la aplicación de *Bacillus subtilis* CP4 solo o combinada con micorrizas. Estos autores refirieron que en los tratamientos donde se aplicaron estas cepas se observó una reducción significativa de la conductividad eléctrica, una disminución de la alcalinidad, un aumento de la materia orgánica y el carbono orgánico y una mejora en la actividad enzimática (invertasas y β -glucosidasas) en el suelo.

La producción de reguladores del crecimiento tipo auxina, ha sido referida en la literatura científica como mecanismo indirecto de tolerancia al estrés hídrico mediante el empleo de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (Poudel *et al.*, 2021). Estos compuestos tiene un papel fundamental en el crecimiento de

las plantas y su desarrollo mediante el aumento del crecimiento radicular o la modificación de la arquitectura de la raíz y/o de los pelos radiculares (Contesto *et al.*, 2010; Cassán *et al.*, 2014). Estos cambios favorecen la toma de agua y nutrientes del suelo (Egamberdieva *et al.*, 2017). En este trabajo en los tratamientos donde se aplicó la cepa, se observó un incremento de la masa de las raíces de las plantas del cultivar de banano. Este efecto puede estar relacionado con la producción por parte de *B. pumilus* CCIBP-C5 de ácido indolacético (AIA) informado previamente (Cruz-Martín *et al.*, 2015). El mejor desarrollo radical alcanzado por las plantas, en los tratamientos con la cepa bacteriana, pudiera favorecer la adaptabilidad de estas a las condiciones de vivero o campo a donde serán trasplantadas posteriormente.

La aplicación adecuada de *B. pumilus* CCIBP-C5 representa una estrategia viable para los procesos de micropropagación de plantas de *Musa* spp. en la fase de aclimatización, su empleo pudiera reducir el tiempo de estadía de las plantas en esta fase y mejorar su calidad para el posterior trasplante a condiciones de campo. Además, las plantas llevarían las bacterias ya establecidas lo que contribuiría a una fácil adaptación a las nuevas condiciones, incluso en suelos pobres en nutrientes.

CONCLUSIONES

La aplicación de *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 en la aclimatización de plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006 tiene impacto en la promoción de crecimiento del cultivo en esta fase y puede observarse en suelo ferralítico rojo y pardo con carbonato. Esta cepa constituye una candidata potencial para la generación de bioproductos para el cultivo de *Musa* spp. y su aplicación en la fase de aclimatización de plantas procedentes del cultivo *in vitro*.

REFERENCIAS

Cassán F, Vanderleyden J, Spaepen S (2014) Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. *J Plant Growth Regul* 33: 440-459; doi: 10.1007/s00344-013-9362-4

Bagyaraj DJ, Sharma MP, Maiti D (2015) Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. *Curr Sci* 108:1288-93

Contesto C, Milesi S, Mantelin S, Zancarini A, Desbrosses G, Varoquaux F (2010) The auxin-signaling pathway is required for the lateral root response of *Arabidopsis* to the rhizobacterium *Phyllobacterium brassicacearum*. *Planta* 232: 1455-1470; doi: 10.1007/s00425-010-1264-0

Cruz-Martín M, Acosta-Suárez M, Mena E, Roque B, Pichardo T, Alvarado-Capó Y (2018) Effect of *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 on *Musa-Mycosphaerella fijiensis* interaction. *3 Biotech* 8: 122; doi: 10.1007/s13205-018-1152-z

Cruz-Martín M, Acosta-Suárez M, Mena E, Roque B, Pichardo T, Alvarado-Capó Y (2017) Antifungal activity of *Musa* phyllosphere *Bacillus pumilus* strain against *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Trop Plant Pathol* 42(2): 121-125; doi: 10.1007/s4085 8-017-0139-3

- Cruz-Martín M, Mena E, Sánchez-García C, Roque B, Acosta-Suárez M, Pichardo T, Leiva-Mora M, Alvarado-Capó Y (2015) The effects of plant growth promoting *Bacillus pumilus* CCIBPC5 on 'Grande naine' (*Musa* AAA) plants in acclimatization stage. *Biotecnología Vegetal* 15(3): 151-156
- Dhawi F, Datta R, Ramakrishna W (2015) Mycorrhiza and PGPB modulate maize biomass, nutrient uptake and metabolic pathways in maize grown in mining-impacted soil. *Plant Physiol Biochem* 97: 390–399
- Egamberdieva D, Wirth SJ, Alqarawi AA, Abd-Allah EF, Hashem A (2017) Phytohormones and beneficial microbes: essential components for plants to balance stress and fitness. *Front Microbiol* 8: 2104; doi: 10.3389/fmicb.2017.02104
- Etesami H, Alikhani HA (2016) Rhizosphere and endorhiza of oilseed rape (*Brassica napus* L.) plant harbor bacteria with multifaceted beneficial effects. *Biological Control* 94: 11–24
- Ghosh A, Singh AB, Kumar RV, Manna MC, Bhattacharyya R, Rahman MM, Misra S (2020) Soil enzymes and microbial elemental stoichiometry as bio-indicators of soil quality in diverse cropping systems and nutrient management practices of Indian Vertisols. *Appl Soil Ecol* 145: 103304
- Goswami M, Deka S (2020) Plant growth-promoting rhizobacteria-alleviators of abiotic stresses in soil: a review. *Pedosphere* 30: 40-61; doi: 10.1016/S1002-0160(19)60839-8
- Hashem A, Abd_Allah E F, Alqarawi A A, Al-Huqail A A, Shah MA (2016) Induction of osmoregulation and modulation of salt stress in *Acacia gerrardii* Benth. by arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus subtilis* (BERA71). *Bio Med Res Int*: 6294098. doi: 10.1155/2016/6294098
- Henin S, Monnier G, Combeau A (1958) Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomiques* (1): 73–92, ISSN: 0003-3839
- Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N (2015) Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Mayabeque; ISBN: 978-959-7023-82-1
- Marín-Guirao JI, Rodríguez-Romera P, Lupión-Rodríguez B, Camacho-Ferre F, Tello-Marquina JC (2016) Effect of *Trichoderma* on horticultural seedlings' growth promotion depending on inoculum and substrate type. *J Appl Microbiol* 121: 1095-1102; doi: 10.1111/jam.13245
- Martins SJ, Rocha GA, de Melo HC, de Castro Georg R, Ulhôa CJ, de Campos Dianese É (2018) Plant-associated bacteria mitigate droughtstress in soybean. *Environ Sci Pollut Res Int* 25: 13676–13686. doi: 10.1007/s11356-018-1610-5
- NC-51 (1999) Calidad del suelo. Análisis químico. Determinación del porcentaje de materia orgánica. Primera edición, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba. , 9 p.
- NC-52 (1999) Calidad del suelo. Determinación de las formas móviles de fósforo y potasio. Primera edición, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba., 12 p.

NC-ISO-10390 (1999) Calidad del suelo. Determinación de pH. Primera edición, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 10p.

Nephali L, Piater LA, Dubery IA, Patterson V, Huyser J, Burgess K, Tugizimana F (2020) Biostimulants for plant growth and mitigation of abiotic stresses: A metabolomics perspective. *Metabolites* 10: E505; doi: 10.3390/metabo10120505

Nomura ES, Damatto ER, Fuzitani EJ, Saes LA, Jensen E (2012) Aclimatização de mudas micropropagadas de bananeira 'Grand Naine' com aplicação de biofertilizantes em duas estações do ano. *Revista Ceres* 59(4): 518-529

Pérez-Jaramillo, JE, Carrión VJ, de Hollander M, Raaijmakers JM (2018) The wild side of plant microbiomes. *Microbiome* 6: 143

Poudel, M, Mendes R, Costa LAS, Bueno CG, Meng Y, Folimonova SY, Garrett KA, Martins SJ (2021) The role of plant-associated bacteria, fungi, and viruses in drought stress mitigation. *Front Microbiol* 12: 743512; doi: 10.3389/fmicb.2021.743512

Poveda I, Cruz-Martín M, Sánchez-García C, Acosta-Suárez M, Leiva-Mora M, Roque B, Alvarado-Capó Y (2010) Caracterización de cepas bacterianas aisladas de la filósfera de *Musa* spp. con actividad antifúngica *in vitro* frente a *Mycosphaerella fijiensis*. *Biotecnología vegetal* 10(1): 57-61

Singh K, Mishra AK, Singh B, Singh RP, Patra DD (2016) Tillage effects on crop yield and physicochemical properties of sodic soils. *Land Degrad Dev* 27: 223-230

Timmusk S, Behers L, Muthoni J, Muraya A, Aronsson AC (2017) Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Front Plant Sci* 8:49

Tsolakidou MD, Stringlis IA, Fanega-Sleziak N, Papageorgiou S, Tsalakou A, Pantelides IS (2019) Rhizosphere-enriched microbes as a pool to design synthetic communities for reproducible beneficial outputs. *FEMS Microbiol Ecol* 95: fiz138

Vageler P, Alten F (1931) Böden des nil und gash IV. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*. 22 (2):191-267

Yadav R, Ror P, Rathore P, Ramakrishna W (2020) Bacteria from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi augment wheat yield and biofortification. *Plant Physiol Biochem* 150: 222-233

Yadav R, Ror P, Rathore P, Kumar S (2021) *Bacillus subtilis* CP4, isolated from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi promotes biofortification, yield and metabolite production in wheat under field conditions. *Journal of Applied Microbiology* 131(1): 339-359

Financiamientos

La investigación formó parte del Programa Nacional de Producción de alimentos y su agroindustria mediante el proyecto Alternativas para la nutrición y protección fitosanitaria de cultivos agrícolas mediante el uso de bioproductos de origen microbiano (P131LH001.29).

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización MCM, ERR; Análisis formal MCM, MAS, ERR; Investigación MCM, MAS, ERR, ER, TP, BR, YAC; Metodología MCM y MAS; Escritura: Primera redacción MCM; Escritura: Revisión y Edición MAS, YAC.

Disponibilidad de datos: Los del estudio se presentan en el artículo. Para otras consultas dirigirse al autor para correspondencia.

Cómo citar:

Cruz-Martín M, Rocha-Rodríguez E, Acosta-Suárez M, Rodríguez E, Pichardo T, Roque B, Alvarado-Capó Y (2022) Efecto estimulador del crecimiento de *Bacillus pumilus* CCIBP-C5 en plantas de banano cv. INIVIT Pb-2006. *Biotecnología Vegetal* 22: 220212