

Utilización de cepas de *Bacillus* como promotores de crecimiento en hortalizas comerciales

Plant growth promotion of commercial vegetable crops by *Bacillus* strains

Marcia M. Rojas-Badía^{1*}, Miguel A. Bello-González², Yoania Ríos-Rocafull³, Daysi-Lugo Moya⁴ y Janet Rodríguez Sánchez⁵

1.Facultad de Biología, Universidad de La Habana. Calle 25 #455 e/ J e I Vedado, La Habana. Cuba. marcia@fbio.uh.cu. 2.Facultad de Biología, Universidad de La Habana. Calle 25 #455 e/ J e I Vedado, La Habana. Cuba. mbello@fbio.uh.cu. 3.Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT), Cuba. dpagrobiotec@inifat.co.cu. 4.Facultad de Biología, Universidad de La Habana. Calle 25 #455 e/ J e I Vedado, La Habana. Cuba. daysi@fbio.uh.cu. 5.Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT), Cuba. bioferbiocontrol@inifat.co.cu. *Autor para la correspondencia: marcia@fbio.uh.cu.

Rec.:2019-05-28 Acep.:17-02-2020

Resumen

El uso de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) es una posibilidad para sustituir parcialmente el empleo de fertilizantes químicos en cultivos comerciales, que no solo encarecen la producción sino que también tienen efectos negativos sobre el medioambiente. El trabajo tuvo como objetivo evaluar el potencial de cepas de *Bacillus* para la promoción del crecimiento vegetal *in vivo* en tres diferentes cultivos hortícolas de importancia económica. Se utilizaron cuatro cepas de *Bacillus*, dos aisladas de los cultivos del maíz (*Zea mays* L.) cultivar híbrido P-7928 y dos de café (*Coffea arabica* L.) cultivar Caturra rojo, para evaluar su efecto en diferentes variables fenológicas y de crecimiento en plantas de maíz, tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) y zanahoria (*Daucus carota* subsp. *sativus* L.) en condiciones de invernadero. Las cepas mostraron un efecto estimulador de la germinación de las semillas de maíz, las cuales presentaron mayor porcentaje e índice de germinación y vigor de plántula que los testigos sin inocular; no obstante no todas las cepas estimularon los mismos indicadores del crecimiento en este cultivo, aunque se destacan las cepas RM5, RC9 y RC15 en la materia seca de raíz. En los cultivos de tomate y zanahoria los resultados fueron variables, por tanto se sugiere profundizar los estudios en estos cultivos.

Palabras clave: bacterias promotoras del crecimiento vegetal, maíz, tomate, zanahoria.

Abstract

The use of plant growth promoting bacteria can substitute partially the chemical fertilizers, which put up the price of agricultural products and have negative effects over the environment. The aim of this work was to evaluate the potentialities of *Bacillus* strains for the plant growth promotion in different economical important crops. Four strains of *Bacillus* were used: two isolated from maize (*Zea mays* L.) hybrid cultivar P-7928 and two from coffee (*Coffea arabica* L.) Caturra rojo cultivar. The strains showed positive effect in the seed germination of maize using index such as: germination percentage, germination index, vigor index and germination rate. Following greenhouse assays were carried out in maize, tomato and carrot. The strains stimulated the germination in maize but not all had the stimulation effect in the same indicators in the maize crop, although the strains RM5, RC9 and RC15 were the best in the root dry weight. In tomato and carrot crops, the results were variables, so it is necessary deeper in the study of plant-bacteria interaction.

Key words: carrot, maize, plant growth promoting bacteria, tomato.

Introducción

Un alto porcentaje de los nutrientes aplicados en el suelo en forma de fertilizantes de síntesis química no son aprovechados por las plantas y se pierden por lixiviación o volatilización; además de los daños asociados al uso de productos químicos en la agricultura y los impactos negativos que estos tienen sobre la salud y el medioambiente. En estas condiciones, es necesario investigar alternativas ecológicamente amigables y económicamente posibles para hacer frente a la demanda creciente de alimentos aplicando técnicas de agricultura sostenible (Vejan et al., 2016).

El manejo de la rizosfera representa un área importante para la agrobiotecnología, con el precepto de aumentar el rendimiento y la producción de biomasa con un uso mínimo de agua, fertilizantes y agroquímicos (Ortiz-Castro et al., 2009). El estudio de la interacción planta-microorganismo puede ayudar a comprender los fenómenos que ocurren en ese ecosistema y podría guiar las aplicaciones que resulten en recursos sustentables, con un menor impacto ambiental y la disminución de la contaminación. Esta interacción puede ser empleada para mejorar el crecimiento de las plantas para la producción de alimentos, pero también de fibras, biocombustibles y metabolitos claves.

El empleo de microorganismos con potencialidades para la promoción del crecimiento vegetal es una alternativa para aumentar la producción agrícola. Las Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPB) son un grupo de microorganismos promisorios y ampliamente estudiados como una de las formas posibles para reducir los costos de producción en la agricultura moderna (de Souza et al., 2015). Estas bacterias poseen varias estrategias para potenciar el crecimiento de la planta como la solubilización y reciclaje de nutrientes, la producción de hormonas estimuladoras del crecimiento, la fijación de nitrógeno, la inducción de defensa de las plantas, la producción de antibióticos y otras sustancias antimicrobianas, y la desintoxicación del suelo, entre otras (Rai et al., 2017).

El género *Bacillus* es uno de los microorganismos más ampliamente estudiado para la promoción del crecimiento de las plantas (Pérez-Montaño et al., 2014). Se ha demostrado que estas bacterias poseen características que les permiten su utilización como promotores del crecimiento vegetal y antagonistas de fitopatógenos (Grobela et al., 2015).

El maíz, el tomate y la zanahoria son cultivos de gran importancia para la alimentación humana. En la actualidad, el maíz es uno de los cereales con mayor volumen de producción a nivel

mundial, junto con el trigo y el arroz. Además es una fuente de alimento y sustento económico directo para gran parte de la población (Paliwal et al., 2001). El tomate es la hortaliza más difundida en el mundo y la de mayor valor económico, la demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio (InfoAgro, 2020a). El cultivo de la zanahoria ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años, tanto en superficie como en producción, ya que se trata de una de las hortalizas más producidas en el mundo (InfoAgro, 2020b).

Estudios *in vitro* realizados en el Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Biología de la Universidad de La Habana, permitieron seleccionar cepas de *Bacillus* provenientes de cultivos de maíz y café con potencial para la promoción del crecimiento de plantas, entre ellas las hortalizas antes mencionadas. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de cepas de *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal en plantas de maíz (*Zea mays* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) y zanahoria (*Daucus carota* subsp. *sativus* L.) en experimentos de interacción planta-microorganismo en condiciones de invernadero.

Materiales y métodos

Cepas bacterianas

En el estudio se utilizaron cuatro cepas de *Bacillus*, obtenidas y seleccionadas en estudios preliminares realizados en el Laboratorio de Ecología Microbiana de la Facultad de Biología, Universidad de La Habana. La cepa RM5 fue aislada de la rizosfera y la EAM5 como endófito de tallos de maíz (*Zea mays* L.), cultivar Híbrido P-7928, cultivado en áreas experimentales del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical Alejandro de Humboldt (INIFAT) (Rojas et al., 2016). Las cepas RC9 y RC15 fueron aisladas de la rizosfera del café (*Coffea arabica* L.) cultivar Caturra rojo, cultivado en la Estación Experimental de Café y Cacao de Baracoa, Guantánamo (Sánchez, 2018).

Aplicación de las cepas bacterianas en invernadero

Las cepas fueron cultivadas en caldo triptonsoya durante 24 h, a 30 °C y bajo condiciones de agitación en zaranda orbital. La concentración celular se ajustó a 10⁸ cel/ml, tomando como referencia el tubo 0.5 de la escala Mc Farland (NCCSL, 2005).

Se utilizaron tres cultivos de importancia económica: maíz (*Zea mays* L.) cv. Francisco mejorado, tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) cv. INIFAT 28, y zanahoria (*Daucus carota* subsp.

sativus L.) cv. New Kuroda. Antes de la siembra las semillas fueron desinfectadas siguiendo el protocolo propuesto por García et al. (2008): inicialmente fueron sumergidas en una solución Tween 80 (500µl/200ml de agua destilada estéril) durante 5 minutos. Seguidamente fueron desinfectadas en etanol al 70% por 30 segundos se hipoclorito de calcio al 25% en una solución Tween 80 (500µl/200ml) por 20 min, uno a continuación del otro. Finalmente fueron lavadas varias veces con agua destilada estéril para eliminar restos del desinfectante.

En invernadero, para el maíz y el tomate se dispusieron dos bandejas de 20 x 15 cm por tratamiento con suelo Ferralítico Rojo Lixiviado Compactado, Gléyico y Nodular Ferruginoso (Hernández et al., 2015) y para zanahoria 10 macetas con capacidad de 2 kg de suelo por tratamiento. La inoculación de los aislados se hizo en el momento de la siembra a razón de 1 ml de cultivo bacteriano por semilla de cada cultivar. Se utilizaron 12 semillas por tratamiento en las bandejas y dos semillas por macetas. El experimento tuvo una duración de 21 días para el maíz y el tomate y de 90 días para la zanahoria. Para mantener la humedad suficiente, en cada cultivo se aplicaron riegos periódicos con agua corriente. En ningún caso se aplicaron nutrientes como fertilizantes a los cultivos. Como testigos absolutos se utilizaron inóculos de medio de cultivo estéril.

Diseño experimental y mediciones

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado. La germinación (%) en maíz fue medida en los días 4, 5, 6, 8 y 11 después de la siembra (D.D.S.), igualmente fueron determinadas la tasa de germinación teniendo en cuenta las nuevas semillas germinadas, el índice de germinación que indica cómo ocurre la germinación en el tiempo y el índice de vigor que considera la masa seca de las semillas germinadas y el porcentaje de germinación (Moeinzadeh et al., 2010). Al final del experimento se midieron diferentes variables de acuerdo con cada cultivo. Para maíz se midió la longitud de la raíz más larga (cm) y de la hoja (cm), la altura (cm), la masa fresca (MV) y seca (MS) de la raíz y la parte aérea (g), el número de hojas y el diámetro del tallo (cm). En el caso del tomate se midió la longitud de la raíz más larga (cm), la longitud transversal de la hoja (cm), la masa fresca de la raíz y la parte aérea (g), el número de hojas y el diámetro del tallo (cm). Para la zanahoria se midió la longitud de la raíz más larga y de la raíz más engrosada (cm), las masas fresca y seca de la raíz y de la parte aérea (g), el número de hojas y el diámetro de la raíz (cm).

El procesamiento estadístico de los datos se realizó con el programa Statgraphics Plus versión 5.0, con el que se comprobó la normalidad y la

homogeneidad de varianzas, según las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, Cochran C, Hartley y Bartlett. Se realizó un Anova de clasificación simple para las variables de crecimiento y cuando existieron diferencias significativas entre los tratamientos, las medias se compararon según la prueba de Duncan al 5% de significación.

Resultados

Efecto de las cepas bacterianas sobre la germinación de maíz

Para analizar el efecto de las cepas sobre la germinación de maíz se utilizaron cuatro índices que indican la calidad y celeridad de la germinación. Se encontró que el porcentaje de germinación fue de 100% para las cuatro cepas, porcentajes que fueron superiores al testigo (50% a los 11 D.D.S.) (Figura 1), no obstante en este caso en especial las semillas continuaron germinando después de esta medición. Por otra parte, todos los tratamientos presentaron tasas de germinación de 0.12 (RC9 y RC15), 0.13 (RM5) y 0.15 (EAM5), siendo menores que el testigo (0.17). La cepa EAM5 mostró el mayor índice de germinación (7.02) con respecto al testigo no inoculado (2.29) y al resto de los tratamientos: RC9 (3.74), RC15 (2.84) y RM5 (3.73). Los valores obtenidos en el índice de vigor en las plantas testigo fue de 3138.33, mientras que para las plantas inoculadas con las cepas de *Bacillus* este índice fue más del doble: RC9: 6876.67, RC15: 6664.54, RM5: 6284.54 y EAM5: 6153.63, aunque la toma de los datos no permitió el análisis estadístico debido a que el conteo fue total y no se hizo por repeticiones.

Evaluación de la promoción del crecimiento

En la Tabla 1 se observa el comportamiento de las variables fenológicas correspondientes al cultivo del maíz. La cepa EAM5 presentó los valores más altos para las variables longitud de raíz y longitud de tallos ($P < 0.05$) en comparación con las demás cepas y el testigo. Para longitud de la hoja, la cepa RC9 mostró diferencias significativas con las cepas EAM5 y RC15 ($P < 0.05$), pero no el testigo no inoculado.

La variable diámetro de tallo solo fue significativa ($P < 0.05$) en el tratamiento con la cepa RC9 vs. el testigo no inoculado. La variable número de hojas en las plantas inoculadas con la cepa RC15 solo difirió ($P < 0.05$) con el tratamiento testigo. Por otra parte, la masa fresca de la raíz y de la parte aérea de las plantas no difirió entre tratamientos ni con relación al testigo. Por el contrario, la masa seca de la raíz en los tratamientos con las cepas RC9,

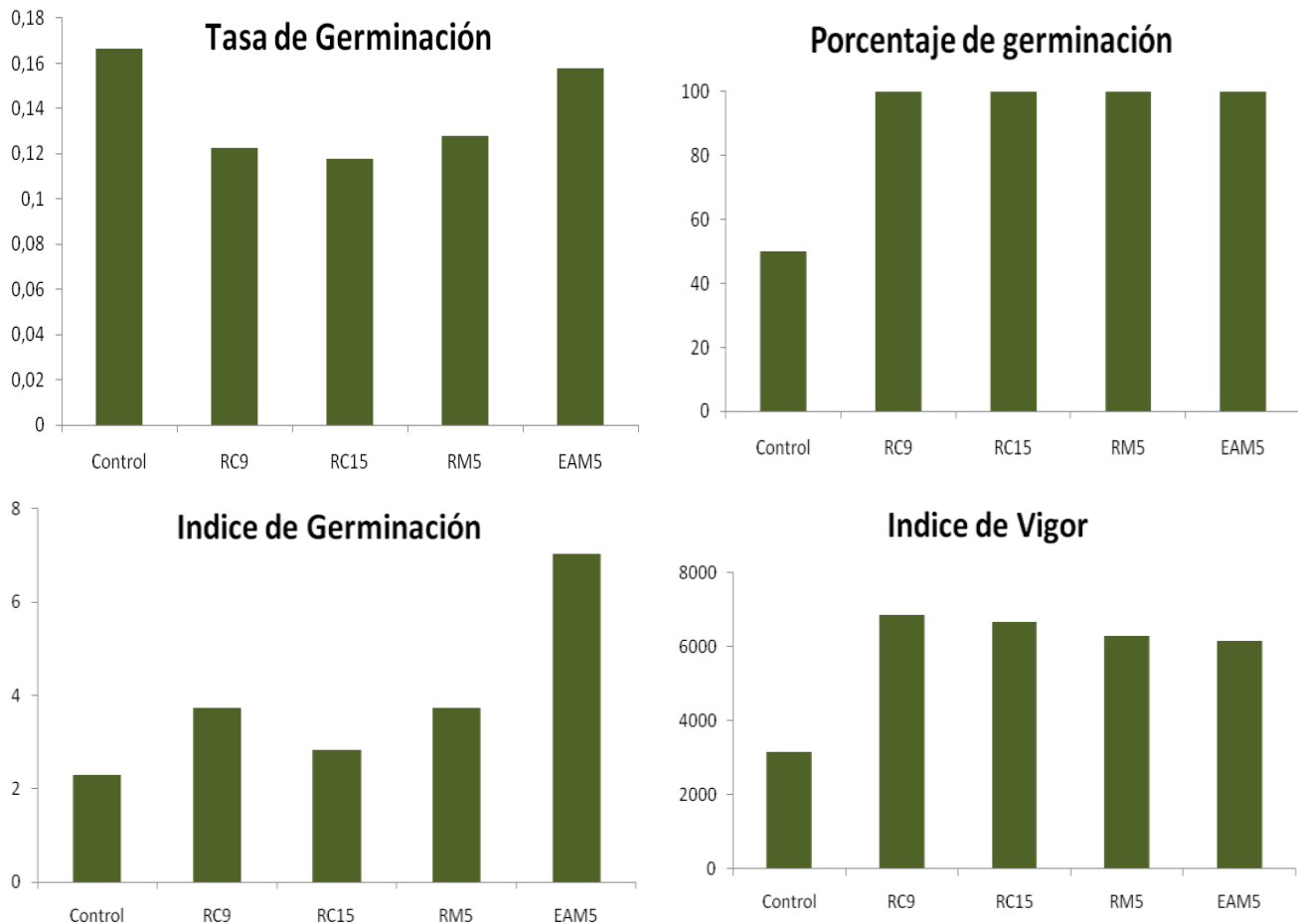


Figura 1. Efecto de las cepas de *Bacillus* sobre la germinación de maíz (*Zea mays* L.) cultivar Francisco Mejorado en suelo Ferralítico rojo Lixiviado Compactado, Gléyico y Nodular Ferruginoso en condiciones de invernadero.

Tabla 1. Influencia de las cepas de *Bacillus* en plantas de maíz (*Zea mays* L.) 21 días días postinoculación cultivadas en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado Compactado, Gléyico y Nodular Ferruginoso, en invernadero.

Treat.	Longitud de la raíz más larga (cm)	Altura (cm)	Longitud de hoja (cm)	Número de hojas	Diámetro del tallo (cm)	MV raíz (g)	MV aérea (g)	MS aérea (g)	MS raíz (g)
Control	2.63±1.65b*	3.78±0.64b	15.72±4.78 ab	3.20±0.52 b	0.23±0.04 bc	0.59±0.16 ab	0.53±0.14 ab	0.09±0.04 ab	0.15±0.07 b
EAM5	5.01±3.86a	5.45±1.61a	17.02±3.42 ab	3.65±0.49 ab	0.25±0.05 ab	0.51±0.17 ab	0.52±0.16 a	0.06±0.02 abc	0.16±0.06 ab
RM5	3.00±2.56b	3.60±0.64 b	14.90±5.06 b	3.35±0.49 ab	0.22±0.05 bc	0.64±0.24 a	0.53±0.24 b	0.08±0.09 c	0.16±0.07 a
RC9	10.07±5.89b	3.97±1.09 b	17.90±5.27 a	3.35±0.93ab	0.25±0.05 a	0.51±0.20 b	0.50±0.30 b	0.09±0.04 a	0.18±0.08 a
RC15	2.85±2.27b	3.91±1.20 b	14.58±3.74 b	3.74±0.70a	0.21±0.02 c	0.51±0.14 b	0.45±0.14 ab	0.06±0.02 bc	0.18±0.07ca
ESx	0.6495	0.2601	1.1147	0.142	0.009	0.0343	0.0531	0.0043	0.0134

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas para la prueba de Duncan ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En cada variable se indica el error estándar de la media y en cada tratamiento la desviación estándar de 12 repeticiones.

RC15 y RM5 mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) cuando se compraron con el testigo, pero esto no ocurre con con la masa seca de la parte aérea, donde los tratamientos no superaron al testigo y la cepa RM5 mostró valores inferiores. Los cambios en la arquitectura de la raíz de las plantas inoculadas fueron notorios con respecto a las no inoculadas. Sobresalió la estimulación observada en la masa seca de la raíz, producto de la actividad de las cepas RC9, RC15 y RM5 en maíz.

En la Tabla 2 aparecen los resultados de las variables fenológicas medidas en el cultivo de tomate. La longitud de la raíz y el número de hojas fueron similares entre los tratamientos y con el testigo; sin embargo la longitud transversal de la hoja en plantas inoculadas con las cepas RC9 y RC15 fue mayor cuando se comparan con el testigo ($P < 0.05$), este indicador es importante ya que determina el área foliar y la capacidad fotosintética de la planta. Para diámetro de tallo,

Tabla 2. Influencia de las cepas de *Bacillus* en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) 21 días postinoculación cultivada en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado Compactado, Gléyico y Nodular Ferruginoso en invernadero.

Trat.	Longitud raíz más larga (cm)	Longitud transversal de la hoja (mm)	Número de hojas	Diámetro del tallo (cm)	MV fresca Raíz (g)	MV fresca aérea (g)
Control	18.0±1.97	49.26±4.96b*	3.83±0.41	0.27±0.03 b	0.73±0.10 ab	1.90±0.44 b
EAM5	17.65±3.87	50.84±2.49ab	4.09±0.30	0.33±0.03 a	0.70±0.17 b	2.41±0.35 ab
RM5	17.50±3.82	47.94±2.80ab	3.73±0.42	0.30±0.05 ab	0.82±0.10 ab	2.12±0.59 ab
RC9	16.37±3.99	51.90±3.00a	4.00±0.00	0.29±0.03 b	0.89±0.18 ab	2.66±0.28 a
RC15	20.41±3.78	52.07±2.82a	3.73±0.65	0.30±0.05 ab	0.98±0.23 a	2.23±0.41 ab
ESx	1.4085	1.3214	0.1561	0.1229	0.0717	0.1576

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas para la prueba de Duncan ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En cada variable se indica el error estándar de la media y en cada tratamiento la desviación estándar de 12 repeticiones.

Tabla 3. Influencia de las cepas de *Bacillus* en plantas de zanahoria (*Daucus carota* subsp. *sativum*) 90 días postinoculación cultivada en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado Compactado, Gléyico y Nodular Ferruginoso en invernadero.

Trat.	Longitud de la raíz (cm)	Longitud de la raíz más engrosada (cm)	Diámetro de la raíz (cm)	Número de hojas	MV raíz (g)	MV aérea (g)	MS raíz (g)	MS aérea (g)
Control	5.21±2.09	1.72±0.58 ab*	0.34±0.25	4.0±0.95 ab	0.01±0.003 c	0.85±0.64 ab	0.03±0.01ab	0.13±0.008 a
EAM5	5.86±2.76	1.83±0.56 ab	0.35±0.27	3.92±1.32 b	0.10±0.09 bc	0.7±0.38b	0.02±0.01b	0.12±0.07a
RM5	5.51±3.59	1.39±0.63b	0.36±0.25	4.0±1.15 ab	0.20±0.24 ab	0.71±0.55b	0.04±0.03ab	0.06±0.04b
RC9	5.3±3.15	2.06±0.64a	0.41±0.26	4.83±0.93 a	0.24±0.22 ab	1.18±0.62 a	0.05±0.01a	0.15±0.07a
RC15	6.94±3.0	1.84±0.73 ab	0.47±0.23	4.18±0.87ab	0.30±0.24a	0.73±0.37 ab	0.04±0.03a	0.11±0.06ab
ESx	1.0203	0.1873	0.0735	0.3091	0.0600	0.1620	0.0080	0.1997

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas para la prueba de Duncan ($P < 0.05$) entre los tratamientos. En cada variable se indica el error estándar de la media y en cada tratamiento la desviación estándar de 12 repeticiones.

la cepa EAM5 superó los valores obtenidos con el testigo y con el tratamiento RC9. La masa fresca de la parte aérea fue más alta en el tratamiento con la cepa RC9, lo que no ocurrió con la masa fresca de la raíz, donde el resultado fue similar entre los tratamientos y el testigo.

Para las plantas de zanahoria, en la Tabla 3 se observa que el efecto de los tratamientos solo fue significativo en la masa fresca de la raíz, siendo mayor en el caso de las cepas RC9, RC15 y RM5 en comparación con el testigo.

Discusión

Los resultados de las tasas de germinación de maíz coinciden con los obtenidos para *Pseudomonas fluorescens* (Moeinzadeh et al., 2010). Se ha demostrado que *Bacillus subtilis* y *B. megaterium* mejoraron el porcentaje y la tasa de germinación en semillas de rábano (Kaymak et al., 2010). El índice de germinación indica cómo ocurre este proceso en el tiempo. El índice de vigor, por su parte, considera la masa seca de las semillas germinadas y el porcentaje de germinación. Este índice es indicativo no solo de la estimulación de la germinación, sino también de la eficacia del tratamiento sobre la plántula que se obtiene a partir de semillas.

Los resultados en este estudio coinciden con los obtenidos en estudios previos que muestran cómo cepas de *Bacillus* presentan potencialidades para ser utilizadas como promotores de la germinación ('bioprimer') y sus capacidades fisiológicas (De Araujo et al., 2012). Además, el uso de este conjunto de índices relacionados con la germinación y el vigor permite realizar una mejor valoración de los resultados y el efecto de las cepas sobre la germinación de las semillas.

La diversidad de las bacterias que habitan como endófitas y rizosféricas en diferentes plantas brinda la posibilidad de seleccionar aquellas con mejores cualidades en la promoción del crecimiento y con un amplio rango de acción (De Araujo et al., 2012); por esta razón en el presente trabajo se evaluaron bacterias provenientes de los cultivos de maíz y café en cultivos de importancia para la alimentación como son maíz, tomate y zanahoria.

Los resultados obtenidos en el cultivo del maíz coinciden con los obtenidos por De Araujo et al. (2012) en la altura de la planta, el número de hojas y la masa seca de la raíz, pero no con la masa seca del tallo. Quizás los mecanismos involucrados en la promoción del crecimiento por las cepas utilizadas en los estudios son

diferentes o exista mayor influencia de alguno de ellos, pero que haya un efecto positivo en la masa seca de la raíz es definitorio para el mejoramiento general de la salud de la planta. Además, se ha planteado que generalmente los cambios en la arquitectura de la raíz de las plantas inoculadas van acompañados de cambios en los procesos endógenos de las plantas (Verbon et al., 2016). Además, la raíz provee del anclaje de la planta al suelo y desempeña un papel importante en la toma de agua y nutrientes (Ortiz-Castro et al., 2009), por lo que se considera fundamental el efecto de las bacterias en el desarrollo de las raíces como se ha obtenido en este trabajo. Zhang et al. (2015) demostraron que la cepa SQR9 de *B. amyloliquefaciens* cuando está viva tiene un efecto positivo en plantas de maíz, lo que indica la importancia de la interacción planta-bacteria y el impacto directo desde el punto de vista agronómico (Rogers et al 2015). Como se puede apreciar en los resultados, dos de las cepas en que se observan los mejores resultados no se originaron de este mismo cultivo (RC9 y RC15) y una de las cepas aisladas a partir del cultivo del maíz no promueve el crecimiento, lo que indica que no siempre existe una relación directa entre el origen de la cepa y su efecto positivo en la fitoestimulación.

En el cultivo del tomate no se observó efecto de las cepas en las variables evaluadas. Esto contrasta con resultados de Ajilogba et al. (2013) quienes encontraron un efecto positivo de cepas de *Bacillus* en la altura y el largo de la raíz de plantas de tomate, y en el incremento en el rendimiento de la planta y peso de los frutos (Mena-Violante et al., 2007). Estos autores coinciden en que si bien los cambios producidos por los microorganismos ocurren a nivel de la raíz, pueden estar relacionados con procesos fisiológicos que afectan el desarrollo y la maduración de los frutos.

En la literatura los estudios de la interacción zanahoria-*Bacillus* son escasos. Fall et al. (2004) y Surette et al. (2003) aislaron *B. megaterium* de cultivos de esta hortaliza el cual mostró efectos positivos en el crecimiento de la planta; en contraste, en el presente trabajo no se observaron efectos positivos de la bacteria en el desarrollo de este cultivo. Esto pudiera deberse a la interacción directa entre las cepas y las variedades de zanahoria que se probaron en el estudio, donde existieron efectos diferentes para cada cultivo probado.

Las bacterias utilizadas en este trabajo tienen la capacidad de producir compuestos indólicos como el ácido indolacético, fithormona que estimula el crecimiento del largo de raíces y tallos, solubilizan fosfatos y crecen en medio semisólido libre de nitrógeno (Rojas et al., 2016).

Estos pueden ser algunos de los mecanismos involucrados en la estimulación del crecimiento de las plantas que se observó en este trabajo.

Las cepas de *Bacillus* examinadas muestran ser aislamientos promisorios para su evaluación como PGPB. Los criterios utilizados en la selección *in vitro* pueden ser útiles en un programa de prospección de *Bacillus* promotores del crecimiento vegetal, reduciendo el número de cepas para llegar a un estado final de ensayos en las plantas (De Araujo et al., 2012), aunque es necesario entender los mecanismos básicos y la interacción PGPB-plantas y la especificidad de ésta para llegar a obtener un producto comercial a base de estos microorganismos (Rojas et al., 2016), ya que como plantean otros investigadores (Kumar et al., 2014), la aplicación de *Bacillus* como PGPR ofrece una vía amigable con el ambiente y sustentable para potenciar la salud de la planta y la productividad de los cultivos en sentido general.

Conclusiones

A nivel de invernadero las cepas de *Bacillus* provenientes de plantas de maíz y cafeto ejercen efecto estimulador de la germinación de las semillas de maíz y se destacan las cepas RM5, RC9 y RC15 en la masa seca de raíz en el cultivo del maíz. En los cultivos del tomate y la zanahoria, se obtienen resultados variables, por lo que se debe profundizar en el estudio de estas interacciones planta-bacteria.

Agradecimientos

Al Proyecto P131LH001190 del programa de Alimento Humano, CITMA por financiar parte de estas investigaciones.

Referencias

- Ajilogba C.F.; Babalola, O.O. y Ahmad, F. 2013. Antagonistic Effects of *Bacillus* Species in Biocontrol of Tomato *Fusarium* Wilt. *Ethno Medicinal*. 7(3): 205-16. DOI: 10.1080/09735070.2013.11886462.
- De Araujo, F.F.; Souza, E.C.; Guerreiro, R.T.; Guaberto, L.M. y De Araujo, A.S.F. 2012. Diversity and growth-promoting activities of *Bacillus* sp. in maize. *Revista Caatinga*, Mossoro. 25(1): 1-7. <http://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/sistema>
- de Souza, R.; Ambrosini, A. y Passaglia, L.M.P. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*. 38(4):401-19. DOI: 10.1590/S1415-475738420150053.
- Fall, R.; Kinsinger, R.F. y Wheeler, K.A. 2004. A Simple Method to Isolate Biofilm-forming *Bacillus subtilis* and Related Species from Plant Roots. *Systematic*

- and Applied Microbiology. 27: 372–9. DOI: 0723-2020/04/27/03-372.
- García, J.C.; Hernández, A.; Acebo, Y. y Rives, N. 2008. Obtención de un nuevo método de desinfección de semillas de arroz. Cultivos Tropicales. 29:55-9. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sciarttextypid=S0258-59362008000400008yln=esytlng=es>.
- Grobelak, A., Napora, A. y Kacprzak, M. 2015. Using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve plant growth. Ecological Engineering. 84: 22-8. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.07.019.
- Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D. y Castro, N. 2015. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Ediciones INCA, ISBN: 798-959-7023-77-7.
- Infoagro2020a. El cultivo del tomate Parte I. https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate_parte_i.asp.
- Infoagro2020b. El cultivo de la zanahoria. <https://www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm>
- Kaymak, H.C.; Guvenc, I., Yarali, F. y Donmez, M.F. 2009. The effects of bio-priming with PGPR on germination of radish (*Raphanus sativus* L.) seeds under saline conditions. Turk Journal of Agric For. 33(2):173–9. DOI: 10.3906/tar-0806-30.
- Kumar, D.; Agarwal, M. y Dheeman, S. 2014. Trends and Prospects of Microbial Diversity in Rhizosphere. En: Maheshwari DKed.), *Bacterial Diversity in Sustainable Agriculture*, Sustainable Development and Biodiversity. Chap 1. Springer International Publishing Switzerland; p. 1-22. DOI 10.1007/978-3-319-05936-5_1.
- Mena-Violante, H.G. y Olalde-Portugal.V. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. Scientia Horticulturae. 113: 103–106. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.01.031.
- Moeinzadeh, A.; Sharif-Zadeh, F.; Ahmadzadeh, M. y Heidari, F. 2010. Biopriming of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seed with *Pseudomonas fluorescens* for improvement of seed invigoration and seedling growth. Australian Journal of Crop Science. 4(7):564-70. ISSN: 1835-2707. <https://scinapse.io/papers/2145796975>.
- NCCSL. 2005. Natural Committee for Clinical laboratory standards for antimicrobial Disk. 'Susceptibility Test'. Approved standard. M2-A5, vol. 13 no. 24.
- Ortiz-Castro, R.; Contreras-Cornejo, H.A.; Macías-Rodríguez, L. y López-Bucio, J. 2009. The role of microbial signals in plant growth and development. Plant Signaling and Behavior. 4: 701-12. DOI: 10.4161/psb.4.8.9047.
- Palinwal, R.F.; Granados, G.; Lafitte, H. R. y Violic, A.D. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. <http://www.fao.org/3/x7650s00.htm#toc>.
- Pérez-Montaño, F.; Alias-Villegas, C.; Bellogín, R.A.; del Cerro, P.; Espuny, M.R. Jiménez-Guerrero, I. et al. 2014. Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: From microorganism capacities to crop production. Microbiological Research. 169:325–36. DOI: 10.1016/j.micres.2013.09.011.
- Rai, A. y Nabti, E. 2017. Plant Growth-Promoting Bacteria: Importance in Vegetable Production. En: Zaidi A, Khan MS, editors. Microbial Strategies for Vegetable Production. Chapter 2. Springer International Publishing AG. Switzerland, p. 23-48. ISBN 978-3-319-54400-7. DOI 10.1007/978-3-319-54401-4.
- Rogers, E.D. y Benfey, P.N. 2015. Regulation of plant root system architecture: implications for crop advancement. Current Opinion in Biotechnology. 32: 93–8. DOI 10.1016/j.copbio.2014.11.015.
- Rojas, M.M.; Tejera, B.; Bosch, D.M.; Ríos, Y.; Rodríguez, J. y Heydrich, M. 2016. Potentialities of *Bacillus* strains for promoting growth in maize *Zea mays* L. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 50(3): 485-496. ISSN: 0034-7485. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193049037016>.
- Sánchez, D. 2018. Caracterización de cepas de la clase Bacilli con potencialidades en la promoción del crecimiento vegetal. Tesis en opción del Título Académico de Máster en Microbiología. Universidad de La Habana, pp. 60.
- Surette, M.A.; Sturz, A. V.; Lada, R.R. y Nowak, J. 2003. Bacterial endophytes in processing carrots (*Daucus carota* L. var. *sativus*): their localization, population density, biodiversity and their effects on plant growth. Plant and Soil. 253(2): 381–90. DOI:10.1023/A:1024835208421.
- Véjan, P.; Abdullah, R.; Khadiran, T.; Ismail, S. y Boyce, A.N. 2016. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability—A Review. Molecules. 21(5): 573-590. doi: 10.3390/molecules21050573.
- Verbon, E.H. y Liberman, L.M. 2016. Beneficial microbes affect endogenous mechanisms controlling root development. Trends Plant Sci. 21(3): 218–229. DOI:10.1016/j.tplants.2016.01.013.
- Zhang, N.; Yang, D.; Wang, D.; Miao, Y.; Shao, J.; Zhou, X. et al. 2015. Whole transcriptomic analysis of the plant-beneficial rhizobacterium *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 during enhanced biofilm formation regulated by maize root exudates. BMC Genomics. 16: 685-705. DOI 10.1186/s12864-015-1825-5.