


Comunicación corta

Efecto de la inoculación de PGPR aisladas de maíz en el crecimiento de este cultivo bajo condiciones controladas

Reneé Pérez-Pérez^{1*} 

Simón Pérez-Martínez² 

Iván Almeida-Acosta³ 

¹Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

²Universidad Estatal de Milagros (UNEMI) Milagros, Provincia del Guayas, Ecuador

³Estudiante, Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”, carretera a Tapaste y Autopista Nacional, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

*Autor para correspondencia: riny@inca.edu.cu

RESUMEN

La aplicación de inoculantes formulados a base de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, en cultivos de interés agrícola como el maíz, representa una alternativa ecológica al uso de químicos en la agricultura. Por otro lado, la utilización de cepas nativas para la inoculación de las plantas, podría representar una ventaja con respecto al uso de cepas alóctonas y, por lo tanto, mejorar la producción del cultivo. En consecuencia, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de 20 cepas bacterianas, aisladas de la rizosfera de maíz y previamente caracterizadas, correspondientes a los géneros *Stenotrophomonas*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Enterobacter*, en el desarrollo de variables morfoagronómicas del propio cultivo. Para ello, se prepararon inoculantes con cada una de las cepas en medio LB líquido. La inoculación se realizó sobre las semillas de maíz sembradas en suelo Ferralítico Rojo no esterilizado, a razón de 300 µl de inóculo por semilla. El experimento se estableció en condiciones controladas de luz, humedad relativa, temperatura y riego y se determinó: altura de la planta, longitud radical, masa seca aérea, masa seca radical y concentración de clorofilas totales, a los 30 días después de la inoculación. Los mejores resultados se obtuvieron con los tratamientos inoculados con *Stenotrophomonas* sp. INCA-FRr1, *Stenotrophomonas* sp. INCA-FRc24 y *Rhizobium* sp. INCA-FRc1. Este estudio

representa la base para la concepción de un nuevo bioproducto destinado a la fertilización del cultivo de maíz.

Palabras clave: FBN, *Stenotrophomonas*, *Rhizobium*, nutrición, fitoestimulación

Recibido: 14/10/2019

Aceptado: 29/03/2021

INTRODUCCIÓN

El suelo alberga gran cantidad de seres vivos, fundamentalmente microorganismos. La variedad genética y la diversidad de nichos ecológicos de las poblaciones microbianas tienen un alto impacto en las funciones del suelo y, en especial, en el crecimiento y desarrollo vegetal ⁽¹⁾. Las interacciones que se establecen entre las raíces de las plantas y los microorganismos edáficos constituye un ambiente dinámico denominado rizosfera ⁽²⁾, donde la diversidad y el tamaño de las poblaciones microbianas es superior en comparación con el suelo no cultivado ⁽³⁾. Dichas poblaciones participan activamente en los ciclos biogeoquímicos de nutrientes, principalmente del nitrógeno y del fósforo, producen hormonas vegetales, sintetizan antibióticos, entre otras características y, como resultado, favorecen el establecimiento, la nutrición y el desarrollo de las plantas ⁽⁴⁾.

El maíz es uno de los cereales más importantes, desde el punto de vista nutricional; también, es el más cultivado y cosechado a nivel mundial, junto con el trigo y el arroz ⁽⁵⁾. Dado el proceso de domesticación que ha sufrido este cultivo, se hace necesario emplear grandes cantidades de fertilizantes para obtener rendimientos aceptables ⁽⁶⁾. La fertilización, sobre todo la incorporación de nitrógeno mineral al cultivo, representa el mayor costo del proceso productivo ⁽⁷⁾; además, el uso irracional de estos insumos impacta de forma negativa sobre el agroecosistema ⁽⁸⁾ e incluso sobre la salud humana ⁽⁹⁾.

La elaboración y aplicación de inoculantes formulados con diversas especies microbianas es una práctica bien conocida en la agricultura. Actualmente, en el marco de la sostenibilidad, la búsqueda de nuevos microorganismos con diversas propiedades promotoras del crecimiento vegetal, es una línea de investigación emergente, ya que en determinadas circunstancias, pueden sustituir parcialmente el empleo de pesticidas y fertilizantes químicos ⁽¹⁰⁾. La utilización de cepas nativas como inoculantes, promueve el manejo ecológico-sostenible de los agroecosistemas y podría mejorar la producción de los cultivos ⁽¹¹⁾. La capacidad de las cepas nativas para interactuar positivamente con la microbiota edáfica residente y su adaptabilidad a

las condiciones climáticas y agroecológicas locales, a menudo potencia su rendimiento en comparación con cepas autóctonas ⁽¹²⁾.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inoculación de 20 cepas, caracterizadas como PGPR, aisladas de la rizosfera de maíz, correspondientes a cuatro géneros bacterianos (*Stenotrophomonas*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y *Enterobacter*), en el crecimiento de plantas de maíz bajo condiciones controladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material microbiológico

Se utilizaron 20 cepas aisladas de la rizosfera de los cultivares comerciales de maíz ‘Raúl’ y ‘Canilla’. Estas se identificaron y se caracterizaron previamente, en función de su capacidad para realizar la FBN, solubilizar sales de fósforo y potasio e inhibir el crecimiento micelial del patógeno *Fusarium oxysporum* ⁽¹³⁾. Las características de las cepas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Identificación y caracterización cualitativa como PGPR de 20 cepas provenientes de la rizosfera de *Zea mays* L. cultivares ‘Raúl’ y ‘Canilla’

Cepas	Identificación	FBN	Solubilización (PO ₄ ²⁻)	Solubilización (K ⁺)	Antagonismo
INCA-FRr1	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	+	+	+	+
INCA-FRr2	<i>Pseudomonas</i> sp.	+	+	-	+
INCA-FRr3	<i>Pseudomonas</i> sp.	+	+	-	+
INCA-FRr4	<i>Pseudomonas</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRr5	<i>Pseudomonas</i> sp.	+	+	+	-
INCA-FRr6	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRr7	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	+	+	-	+
INCA-FRr8	<i>Pseudomonas</i> sp.	+	+	-	+
INCA-FRr9	<i>Pseudomonas</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRr10	<i>Rhizobium</i> sp.	+	-	-	-
INCA-FRr11	<i>Pseudomonas</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRr12	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRr13	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRr16	<i>Enterobacter</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRc1	<i>Rhizobium</i> sp.	+	-	-	-
INCA-FRc4	<i>Rhizobium</i> sp.	+	-	-	-
INCA-FRc8	<i>Rhizobium</i> sp.	+	-	-	-
INCA-FRc16	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	+	+	-	-
INCA-FRc19	<i>Rhizobium</i> sp.	+	-	-	-
INCA-FRc24	<i>Stenotrophomonas</i> sp.	+	+	-	+

Preparación de inoculantes

Los inoculantes se prepararon en frascos Erlenmeyers de 150 mL de capacidad, con 20 mL de medio LB líquido. Estos se inocularon con una asada de cada cepa, conservadas a 4 °C en medio LB sólido. Los frascos se mantuvieron en condiciones de agitación en zaranda orbital termostataada a 150 rpm y 29 °C durante 24 h. La densidad óptica se ajustó por espectrofotometría a 0,5 ($\lambda=600$ nm) en cada inoculante.

Inoculación en plantas de maíz bajo condiciones controladas

Se utilizó semillas de maíz cultivar ‘Raúl’, procedente del banco de semillas del Departamento de Genética y Mejoramiento de las Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Estas se desinfectaron superficialmente con etanol al 70 % durante 5 min, hipoclorito de sodio al 20 %, durante 10 min y seis lavados consecutivos con agua destilada estéril. Luego, se colocaron superficialmente en macetas con 700 g de suelo Ferralítico Rojo Lixiviado, no esterilizado, a razón de dos semillas por maceta. La inoculación se realizó con 300 μ l de inóculo sobre cada semilla, estableciéndose 20 tratamientos y un control no inoculado. A los cinco días después de la inoculación, se extrajeron, de cada maceta, la plántula menos desarrollada o no germinada, manteniendo una planta por maceta. El ensayo se mantuvo durante 30 días bajo condiciones controladas de fotoperiodo (12 h luz/12 h oscuridad), temperatura (día/noche de 26/22 °C) y humedad relativa (70 %). El riego se efectuó cada tres días a todos los tratamientos, incluido el control, con una modificación de la solución nutritiva de Hoagland (5 g L⁻¹ KH₂PO₄, 27 g L⁻¹ MgSO₄·7H₂O, 0,14 g L⁻¹ H₃BO₃, 0,15 g L⁻¹ CuSO₄·5H₂O, 0,008 g L⁻¹ (NH₄)₆Mo₇O₂₄·6H₂O, 0,06 g L⁻¹ ZnSO₄·7H₂O, 0,2 g L⁻¹ MnSO₄·4H₂O, 1,87 g L⁻¹ Fe-EDTA (6 %)), de la cual se retiraron las sales nitrogenadas. Posteriormente se determinó altura (cm), largo de raíz (cm), masa seca aérea (MSA) (g), masa seca radical (MSR) (g) y contenido de clorofilas totales (SPAD).

Diseño y análisis estadístico

Se establecieron ocho réplicas por tratamiento y se empleó un diseño completamente aleatorizado. Los valores de las variables que se determinaron se sometieron a la prueba de normalidad de Bartlett y homogeneidad de varianza de Kormogorov-Smirnov. Posteriormente, se aplicó análisis de varianza de clasificación simple, utilizando el test de comparación de medias de Tukey para $p<0,05$. Se empleó el programa SPSS Statistic (ver. 21) para el procesamiento estadístico de los datos. El experimento se realizó por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inoculación en plantas de maíz bajo condiciones controladas

A los 30 días después de la inoculación se observó diferencias estadísticas entre los indicadores de crecimiento evaluados en cada uno de los tratamientos (Tabla 2).

Los tratamientos con mejores resultados correspondieron a las plantas inoculadas con las cepas INCA-FRr1 e INCA-FRc24, identificadas como *Stenotrophomonas*, además de INCA-FRc1, identificada como *Rhizobium*. Estos tratamientos presentaron valores estadísticamente superiores al control en cuatro de las cinco variables evaluadas, lo cual podría estar relacionado con los mecanismos de promoción del crecimiento vegetal que presentan.

Tabla 2. Efecto de la inoculación de las cepas bacterianas en el crecimiento de plantas de maíz cultivar 'Raúl', bajo condiciones controladas

Cepas	Altura (cm)	Largo Raíz (cm)	MSA (g)	MSR (g)	Clorofilas totales (SPAD)
INCA-FRr1	65,34 a	38,60 ab	0,63 abc	0,53 a	19,14 d
INCA-FRr2	57,90 abcd	35,79 abc	0,70 a	0,45 abc	28,56 abc
INCA-FRr3	61,64 abc	35,04 abc	0,66 ab	0,42 abc	25,96 bc
INCA-FRr4	59,52 abcd	35,82 abc	0,55 adcd	0,36 abc	27,59 abc
INCA-FRr5	58,26 abcd	34,40 abc	0,60 abcde	0,43 abc	29,26 abc
INCA-FRr6	53,40 de	38,34 ab	0,51 bcde	0,40 abc	33,38 a
INCA-FRr7	55,32 bcd	41,98 a	0,58 abcd	0,51 a	23,94 cd
INCA-FRr8	52,14 de	34,38 abc	0,49 bcde	0,41 abc	26,75 bc
INCA-FRr9	63,76 ab	30,60 c	0,64 abc	0,49 a	19,35 d
INCA-FRr10	56,04 abcd	32,70 bc	0,55 abcd	0,53 a	26,44 bc
INCA-FRr11	57,30 abcd	32,00 bc	0,48 cde	0,44 abc	28,43 abc
INCA-FRr12	60,04 abcd	35,04 abc	0,52 abcde	0,48 ab	28,01 abc
INCA-FRr13	54,08 cde	37,90 ab	0,50 bcde	0,38 abc	28,86 abc
INCA-FRr16	61,53abc	35,06 abc	0,67 ab	0,44 abc	24,22 cd
INCA-FRc1	64,90 a	37,20 ab	0,66 abc	0,50 a	18,74 d
INCA-FRc4	57,24 abcd	37,92 ab	0,56 abcd	0,40 abc	23,25 cd
INCA-FRc8	44,66 f	34,80 abc	0,34 f	0,36 abc	33,83 a
INCA-FRc16	64,80 a	37,18 ab	0,52 bcde	0,39 abc	29,74 abc
INCA-FRc19	53,40 de	30,90 bc	0,44 de	0,28 c	29,08 abc
INCA-FRc24	43,89 f	37,84 ab	0,63 abc	0,52 a	33,66 a
Control	51,24 e	29,60 c	0,39 ef	0,31 bc	18,70 d
Error estándar	0,794	0,593	0,012	0,015	1,793

Se representa la media de cada tratamiento y el error estándar para cada variable medida

Letras iguales en la misma columna no difieren significativamente (Tukey $p < 0,05$, $n = 8$)

También se destacaron los tratamientos con las cepas *Pseudomonas* sp. INCA-FRr9 *Stenotrophomonas* sp. INCA-FRr12 y *Stenotrophomonas* sp. INCA-FRc16. Los géneros *Stenotrophomonas*, *Pseudomonas* y *Rhizobium*, se reportan como microbiota natural, rizosférica y endofítica, de diversos cultivos incluido el maíz⁽¹⁴⁻¹⁶⁾. Trabajos previos aseguran el efecto fitoestimulante de estos microorganismos sobre diferentes cultivos de interés agrícolas, tanto leguminosos como no leguminosos⁽¹⁷⁻²⁰⁾.

La altura de la planta no tiende a incrementar mucho más que los controles no inoculados, tras aplicar algún tratamiento biológico⁽²¹⁾; sin embargo, los resultados muestran aumentos significativos de hasta el 27,5 % entre las cepas INCA-FRr1, INCA-FRc1 e INCA-FRc16, con respecto al control no inoculado. Diferentes ensayos de inoculación de *Rhizobium* y *Stenotrophomonas* en maíz, resultan en un ligero aumento en la longitud de las plantas, en comparación con los resultados obtenidos en esta investigación⁽²¹⁻²⁴⁾. Por otro lado, la longitud radical se vio favorecida en las plantas inoculadas con estos mismos tratamientos, además de las cepas INCA-FRc24 e INCA-FRr7. Según la literatura, la inoculación con diferentes especies de *Rhizobium*, propicia el aumento de la longitud radical, número de raíces y masa seca radical en plantas de maíz⁽²²⁾. En el caso de la inoculación con *Stenotrophomonas*, no se reportan en investigaciones previas, aumentos significativos en cuanto al desarrollo radical⁽²⁴⁻²⁶⁾; sin embargo, los mejores resultados en este ensayo, corresponden al tratamiento con *Stenotrophomonas* sp. INCA-FRr7, el cual presentó un aumento en la longitud radical del 41,8 %, por encima del tratamiento control.

Las cepas que más aportaron al desarrollo de la masa seca aérea, fueron *Pseudomonas* sp. INCA-FRr2, *Pseudomonas* sp. INCA-FRr3 y *Enterobacter* sp. INCA-FRr16, las cuales presentaron aumentos de hasta un 79,5 % respecto al control. En la literatura se reportan resultados similares para algunas especies de *Enterobacter* y *Pseudomonas*, los cuales se atribuyen, fundamentalmente, a la FBN y producción de fitohormonas^(27,28). En cuanto a la masa seca radical, se obtuvieron incrementos de hasta un 71 %, respecto a las plantas controles en los tratamientos INCA-FRr1, INCA-FRc1 e INCA-FRc24, principalmente. Algunos autores plantean que el crecimiento y el desarrollo de las variables morfoagronómicas en el maíz, es causado por una suma de factores y no por valores individuales obtenidos *in vitro*⁽²⁹⁾. Otros afirman que los productos provenientes de la FBN, contribuyen en altos porcentajes al desarrollo de la biomasa total del maíz y resaltan el papel de las auxinas como principales causantes del aumento de biomasa radical y aérea⁽³⁰⁾.

Por su parte, las mayores concentraciones de clorofilas totales fueron obtenidas, nuevamente, en los tratamientos inoculados con *Rhizobium* y *Stenotrophomonas*, destacándose las cepas INCA-FRr6, INCA-FRc8 e INCA-FRc24, con un aumento del 81 %, por encima del control.

El contenido de clorofila en la planta está estrechamente relacionado con el estado nutricional de la misma ⁽³¹⁾ y, particularmente, con el contenido de nitrógeno como componente esencial de esta biomolécula ⁽³²⁾. Diversas investigaciones estiman una relación directa entre la producción de clorofilas y el suministro de nitrógeno a la planta, basado en la obtención de mayores concentraciones de clorofilas totales, a medida que aumenta la dosis de nitrógeno mineral en el suelo ^(32,33). Así, uno de los factores importantes que indica la eficiencia de la fertilización nitrogenada, es el contenido de pigmentos fotosintéticos en las hojas, pues las proteínas del ciclo de Calvin y de los tilacoides representan la mayor parte del nitrógeno foliar ⁽²¹⁾.

Teniendo en cuenta que todas las cepas utilizadas presentaron la capacidad de realizar la FBN, se podría decir que este aspecto favoreció la producción de clorofilas totales. No obstante, las plantas inoculadas con las cepas INCA-FRr1 e INCA-FRc1, mostraron los valores más bajos de esta variable, lo que contrasta con el resto las variables, en las que se destacaron ambos tratamientos de forma positiva. Esto pudiera sugerir que tal vez, la FBN no constituyó el principal mecanismo de promoción del crecimiento vegetal empleado por estas cepas.

En esta investigación, el suelo utilizado provino de la misma región de donde fueron aisladas las cepas inoculadas; además, no fue esterilizado para el ensayo, por lo que no debe haber cambios significativos en la microbiota residente ⁽³⁴⁾. En efecto, las poblaciones microbianas presentes en este suelo, debieron influir en la actividad promotora del crecimiento vegetal de las cepas inoculadas, ya sea potenciándola o inhibiéndola. Por lo tanto, en vista de los resultados obtenidos, podríamos decir que existe compatibilidad y sinergismo entre las cepas INCA-FRr1, INCA-FRc1 e INCA-FRc24 y la microbiota edáfica residente. Por otro lado, tampoco se aplicó fertilizante mineral a los tratamientos, lo que podría influir en la expresión de mecanismos de promoción del crecimiento vegetal que presentan las cepas inoculadas, en especial, la FBN.

Está demostrado que una deficiencia en los compuestos nitrogenados en el medio, estimula la síntesis del complejo enzimático Nitrogenasa, responsable de la FBN ⁽³⁵⁾. En este caso, el bajo contenido de materia orgánica presente en los suelos Ferralíticos Rojos ⁽³⁶⁾, la eliminación de compuestos nitrogenados de la solución nutritiva de Hoagland y la falta de fertilizante mineral, pudieron favorecer las condiciones para la expresión de actividad fijadora de nitrógeno de estas cepas. Por otro lado y sin descartar el papel fundamental de este elemento en el crecimiento de las plantas, especialmente del maíz, es posible que estos microorganismos presenten otros mecanismos de promoción del crecimiento vegetal que no se han determinado en este trabajo. También cabe destacar, que los géneros *Stenotrophomonas* y *Rhizobium*, los más sobresalientes en este ensayo, a pesar de su carácter diazotrófico, en plantas no leguminosas son más conocidos

por su capacidad fitoestimulante que por el aporte de la FBN^(21–24,37,38). Por estas razones, sería conveniente realizar una caracterización más completa de las cepas estudiadas.

CONCLUSIONES

- Los inoculantes conformados por *Stenotrophomonas* sp. INCA-FRr1, *Stenotrophomonas* sp. INCA-FRc24 y *Rhizobium* sp. INCA-FRc1, presentaron incrementos significativos con respecto al control no inoculado en un mayor número de variables. Aunque el aumento de la disponibilidad de nitrógeno mediante la FBN es imprescindible para el crecimiento de la planta, podrían existir otros mecanismos que contribuyan a ello de forma significativa. Por esto, se hace necesario profundizar en otras características promotoras del crecimiento vegetal que podrían presentar estas cepas.
- Las cepas INCA-FRr1, INCA-FRc1 e INCA-FRc24, constituyen inoculantes promisorios para una nueva fase de experimentación en condiciones semicontroladas y de campo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ali Q, Ashraf S, Kamran M, Ijaz M. Affirmative Plant-Microbe Interfaces Toward Agroecosystem Sustainability. In: Microbiome in Plant Health and Disease. Springer; 2019. p. 145–70.
2. Lopes LD, Pereira e Silva M de C, Andreote FD. Bacterial abilities and adaptation toward the rhizosphere colonization. *Frontiers in microbiology*. 2016;7:1341.
3. Jha CK, Saraf M. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Journal of Agricultural Research and Development*. 2015;5(2):108–19.
4. Goswami D, Thakker JN, Dhandhukia PC. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. *Cogent Food & Agriculture*. 2016;2(1):1127500.
5. García Lizama A, Laval M E. El mercado mundial de los cereales: temporada 2018/2019, situación política mundial y perspectivas para la próxima década. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile. 2019;7.
6. Martín GM, Rivera R. Influencia de la inoculación micorrízica en los abonos verdes. Efecto sobre el cultivo principal. Estudio de caso: el maíz. *Cultivos Tropicales*. 2015;36:34–50.
7. Zhao B, Ata-Ul-Karim ST, Liu Z, Ning D, Xiao J, Liu Z, et al. Development of a critical nitrogen dilution curve based on leaf dry matter for summer maize. *Field Crops Research*. 2017;208:60–8.

8. Baez-Rogelio A, Morales-García YE, Quintero-Hernández V, Muñoz-Rojas J. Next generation of microbial inoculants for agriculture and bioremediation. *Microbial biotechnology*. 2017;10(1):19–21.
9. Vejan P, Abdullah R, Khadiran T, Ismail S, Nasrullah Boyce A. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability—a review. *Molecules*. 2016;21(5):573.
10. Wang J, Li R, Zhang H, Wei G, Li Z. Beneficial bacteria activate nutrients and promote wheat growth under conditions of reduced fertilizer application. *BMC microbiology*. 2020;20(1):1–12.
11. Berger B, Patz S, Ruppel S, Dietel K, Faetke S, Junge H, et al. Successful formulation and application of plant growth-promoting *Kosakonia radicincitans* in maize cultivation. *BioMed research international*. 2018;2018.
12. Koskey G, Mburu SW, Njeru EM, Kimiti JM, Ombori O, Maingi JM. Potential of native rhizobia in enhancing nitrogen fixation and yields of climbing beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in contrasting environments of Eastern Kenya. *Frontiers in plant science*. 2017;8:443.
13. Pérez-Pérez R, Oudot M, Serrano L, Hernández I, Nápoles M, Sosa D, et al. Rhizospheric rhizobia identification in maize (*Zea mays* L.) plants. *Agronomía Colombiana*. 2019;37(3):255–62.
14. Niu B, Kolter R. Quantification of the composition dynamics of a maize root-associated simplified bacterial community and evaluation of its biological control effect. *Bio-protocol*. 2018;8(12).
15. Ramírez M, López-Piñeiro A, Peña D, Rato Nunes J, Albarrán Á, Muñoz A, et al. Seasonal and interannual fluctuation of the microbial soil community in a maize field under long-term conservation agriculture management. *Sustainability*. 2017;9(5):778.
16. Reyes I, Alvarez L, El-Ayoubi H, Valery A. Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Bioagro*. 2008;20(1):37–48.
17. Egamberdieva D, Jabborova D, Berg G. Synergistic interactions between *Bradyrhizobium japonicum* and the endophyte *Stenotrophomonas rhizophila* and their effects on growth, and nodulation of soybean under salt stress. *Plant and soil*. 2016;405(1):35–45.
18. Egamberdieva D, Wirth S, Jabborova D, Räsänen LA, Liao H. Coordination between *Bradyrhizobium* and *Pseudomonas* alleviates salt stress in soybean through altering root system architecture. *Journal of Plant Interactions*. 2017;12(1):100–7.
19. Naserzadeh Y, Nafchi AM, Mahmoudi N, Nejad DK, Gadzhikurbanov AS. Effect of combined use of fertilizer and plant growth stimulating bacteria *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter* and *Pseudomonas* on the quality and components of corn forage in Iran. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019;14(3):209–24.

20. Tewari S, Sharma S. Rhizobial-metabolite based biocontrol of fusarium wilt in pigeon pea. *Microbial Pathogenesis*. 2020;147:104278.
21. Hussain MB, Zahir ZA, Asghar HN, Mubarak R, Naveed M. Efficacy of rhizobia for improving photosynthesis, productivity, and mineral nutrition of maize. *CLEAN–Soil, Air, Water*. 2016;44(11):1564–71.
22. Ali Q, Zahir ZA, Asghar HN, Jamil A. Inoculation with *Rhizobial consortium* for improving the growth, yield and quality of maize under salt-stressed conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2017;54(1).
23. Gopi K, Jinal HN, Pritesh P, Kartik VP, Amaresan N. Effect of copper-resistant *Stenotrophomonas maltophilia* on maize (*Zea mays*) growth, physiological properties, and copper accumulation: potential for phytoremediation into biofortification. *International journal of phytoremediation*. 2020;22(6):662–8.
24. Patel T, Saraf M. Exploration of novel plant growth promoting bacteria *Stenotrophomonas maltophilia* mtp42 isolated from the rhizospheric soil of *Coleus forskohlii*. *Int. J Curr. Microbiol. App. Sci*. 2017;6(11):944–55.
25. Granada-Mora KI, González R, Alvarado Y, Robles AR, Torres R. Caracterización de rizobacterias y estimulación de parámetros morfológicos y biomasa en maíz (*Zea mays* L.). *Centro de Biotecnología*. 2015;4(1):14–22.
26. Singh RP, Jha PN. The PGPR *Stenotrophomonas maltophilia* SBP-9 augments resistance against biotic and abiotic stress in wheat plants. *Frontiers in microbiology*. 2017;8:1945.
27. Kämpfer P, Ruppel S, Remus R. *Enterobacter radicincitans* sp. nov., a plant growth promoting species of the family Enterobacteriaceae. *Systematic and applied microbiology*. 2005;28(3):213–21.
28. Vacheron J, Moëgne-Loccoz Y, Dubost A, Gonçalves-Martins M, Muller D, Prigent-Combaret C. Fluorescent *Pseudomonas* strains with only few plant-beneficial properties are favored in the maize rhizosphere. *Frontiers in plant science*. 2016;7:1212.
29. Rodrigues AA, Forzani MV, Soares R de S, Sibov ST, Vieira JDG. Isolation and selection of plant growth-promoting bacteria associated with sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 2016;46(2):149–58.
30. Gopalakrishnan G, Cristina Negri M, Salas W. Modeling biogeochemical impacts of bioenergy buffers with perennial grasses for a row-crop field in Illinois. *Gcb Bioenergy*. 2012;4(6):739–50.
31. León R, Pérez M, Fuenmayor F, Gutiérrez M, Rodríguez A, Rodríguez G, et al. Evaluación fisiológica y agronómica de clones promisorios de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) sometidos a condiciones de estrés por sequía. *Revista UNELLEZ de Ciencia y tecnología*. 2016;34:50–7.

32. Nguyen HP, Miwa H, Obirih-Opareh J, Suzaki T, Yasuda M, Okazaki S. Novel rhizobia exhibit superior nodulation and biological nitrogen fixation even under high nitrate concentrations. *FEMS microbiology ecology*. 2020;96(2):fiz184.
33. Portugal JR, Arf O, Peres AR, Meirelles FC, Rodrigues RAF, Gonzaga AR, et al. Nutritional aspects of corn due to cover crops, nitrogen doses and inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Australian Journal of Crop Science*. 2018;12(4):592.
34. Yang Y, Wang N, Guo X, Zhang Y, Ye B. Comparative analysis of bacterial community structure in the rhizosphere of maize by high-throughput pyrosequencing. *PLoS One*. 2017;12(5):e0178425.
35. Iyer B, Rajkumar S. Rhizobia. In: Reference Module in Life Sciences. Gujarat, India: Elsevier; 2018.
36. Hernández JA, Pérez JJM, Bosch ID, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015.
37. Bhattacharya S, Das A, Srividya S, Prakruti PA, Priyanka N, Sushmitha B. Prospects of *Stenotrophomonas pavanii* DB1 in diesel utilization and reduction of its phytotoxicity on *Vigna radiata*. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020;17(1):445–54.
38. Goulart-Machado R, Saccol-de Sá EL, Hahn L, Pilatti-Sant'Ana WL. Inoculation of plant growth promoting rhizobia in Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf cv. Sudanense) and millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. cv. BRS1501). *Acta Agronómica*. 2018;67(1):133–9.