



Crecimiento de *Zea mays* inoculado con *Bacillus cereus* y *Micromonospora echinospora* con fertilizante nitrogenado al 50%
Growth of *Zea mays* innoculated with *Bacillus cereus* and *Micromonospora echinospora* at 50% of nitrogen fertilizer

García-Radillo Pedro¹, Montañón-Arias Noé Manuel², Ignacio-Cruz Juan Luis¹, Santoyo-Pizano Gustavo¹, Sánchez-Yáñez Juan Manuel^{1*}

Datos del Artículo

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mujica S/N, Col. Felicitas del Río C.P. 58000, Morelia, Mich., México. Laboratorio de Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Ed-B3 C.U.

²Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Departamento de Biología. Av. San Rafael Atlixco No. 186, Col. Vicentina, Alcaldía de Iztapalapa, C.P. 09340. Ciudad de México.

*Dirección de contacto:
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mujica S/N, Col. Felicitas del Río C.P. 58000, Morelia, Mich., México. Laboratorio de Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Ed-B3 C.U.

Juan Manuel Sánchez-Yáñez
E-mail address: svanez@umich.mx

Palabras clave:

Suelo,
Z. mays,
NH₄NO₃,
absorción radical,
B. cereus,
M. echinospora,
fitohormonas.

J. Selva Andina Res. Soc.
2019; 10(1):16-24.

Historial del artículo.

Recibido septiembre, 2018.
Devuelto noviembre 2018
Aceptado enero, 2019.
Disponible en línea, febrero, 2019.

Editado por:
Selva Andina
Research Society

Resumen

El cultivo de *Zea mays* (maíz) demanda fertilizante nitrogenado (FENI), como NH₄NO₃ (nitrato de amonio), el cual, aplicado en exceso, provoca la pérdida de productividad del suelo. Una alternativa de solución para este problema es la reducción y optimización de la dosis de FENI, con inoculantes a base de géneros de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BAPOCEVE). El objetivo de este trabajo fue analizar el crecimiento de *Z. mays* inoculado con *Bacillus cereus* y *Micromonospora echinospora* a la dosis 50% del FENI. Bajo un diseño experimental de bloques al azar con el NH₄NO₃, a la dosis 50% (5 g/L) en *Z. mays* inoculado con *B. cereus* y *M. echinospora*, mediante las variables-respuesta: porcentaje (%) y tiempo de germinación, fenología: altura de planta (AP), número de hojas (NH) y longitud de raíz (LR), la biomasa: peso fresco y seco aéreo y radical: PFA/PFR/PSA/PSR, la plántula y floración comparado con *Z. mays* y la dosis del FENI 100% (10 g/L) sin inocular o control relativo. Los datos experimentales se analizaron por ANOVA y Diferencia Mínima Significativa (DMS). Los resultados mostraron un efecto positivo de la doble inoculación con ambas BAPOCEVE sobre la germinación de la semilla de *Z. mays*; al igual que a plántula y floración, en donde *Z. mays* alcanzó un PSR de 3.5 g valor numérico estadísticamente diferente, comparado con los 1.1 g de PSR de *Z. mays* con el FENI al 100% sin inocular con las BAPOCEVE o control relativo (CR). Esto apoya que la inoculación de *Z. mays* con *B. cereus* y *M. echinospora*, mediante la síntesis de SUPOCEVE o fitohormonas, generados a partir de exudados de compuestos orgánicos de la semilla y raíces vegetales indujeron la proliferación de pelos radicales y aumentaron, su capacidad de absorción y optimizaron al máximo el NH₄NO₃ reducido al 50%, lo que evita la pérdida de productividad del suelo.

© 2019. Journal of the Selva Andina Research Society. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

In Mexico *Zea mays* (maize) is a crop which demands nitrogen fertilizer (NIFE) as a NH₄NO₃ (ammonium nitrate), in that sense hiperfertilization causes soil's lost productivity. An alternative of solution to solve this problem is the reduction and the optimization of NIFE with inoculants based on genus and species of plant growth-promoting bacteria (PGPB). The aim of this study was to analyze the growth of *Z. mays* inoculated with *Bacillus cereus* and *Micromonospora echinospora* at 50% reduced NIFE. An experimental design of randomized blocks was used with (NH₄NO₃) as NIFE at the dose 50% (5 g/L) for *Z. mays* inoculated with the PGPB: the response variables on its seed: germination percent, day to germination, its shoot and root phenology: height plant, number of leaves, and root long and biomass: aerial fresh weight, root fresh weight, aerial dry weight, root dry weight (AFW/RFW/ADW/RDW). Experimental data were analyzed by ANOVA and minimal significant difference (LSD). Results showed a positive effect of *B. cereus* and

Key words:

Soil,
Z. mays,
 nitrogen fertilizer,
 radical absorption,
B. cereus,
M. echinospora,
 phytohormons.

M. echinospora on *Z. mays* seed as well as at seedling and flowering stages, where *Z. mays* had a RDW of 3.5 g, numerical value statistically different compared with 1.1 g of RDW of *Z. mays* fed with NIFE at 100% dose, not inoculated used as a relative control (RC) Those data suggested that the inoculation of *Z. mays* with *B. cereus* and *M. echinospora* improving radical absorption of NIFE reduce at 50%, due to PGBP were able to transform seed and root organic exudates into growth promoting vegetal compounds (GPVC) or phytohormons avoiding soil's lost productivity.

© 2019. Journal of the Selva Andina Research Society. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

En México y en el mundo la gramínea *Zea mays* es de alto consumo en la alimentación humana. *Z. mays* requiere fertilizante nitrogenado (FENI), en forma de NH_4NO_3 para un sano crecimiento. El FENI aplicado en exceso en su cultivo causa infertilidad del suelo.^{1,2} En contraste, una alternativa de solución para la hiperfertilización en *Z. mays* es la inoculación con géneros y especies de BAPOCEVE las que permitan reducir y optimizar el NH_4NO_3 reducido al 50%.³ La literatura señala evidencias que géneros y especies diversas de BAPOCEVE, utilizan los compuestos orgánicos generados durante la germinación de las semillas como las de *Z. mays*, al igual de aquellos compuestos liberados durante el crecimiento de la raíz, pudiendo ser transformados en SUPOCEVE, de tipo auxina, citocinina y geberelina^{17,18} que aceleran su germinación, induciendo la producción de abundantes pelos radicales, para que la raíz explore y optimice al máximo el FENI disponible, en especial se ha reducido para evitar la pérdida de la fertilidad del suelo.^{20,31} La literatura reporta un efecto positivo de diferentes géneros y especies de *Bacillus* spp., ya sea de manera individual o en mezcla con otros géneros y especies de BAPOCEVE, no convencionales como actinomicetos^{4,7} que se aplican en gramíneas, para favorecer la síntesis de SUPOCEVE, un sano crecimiento a dosis de FENI reducida hasta un 50% sin causar problema de desnutrición mineral, Gholami et al.¹⁵, Ashrafuzzaman et al.¹⁶ reportan la inoculación de *Z.*

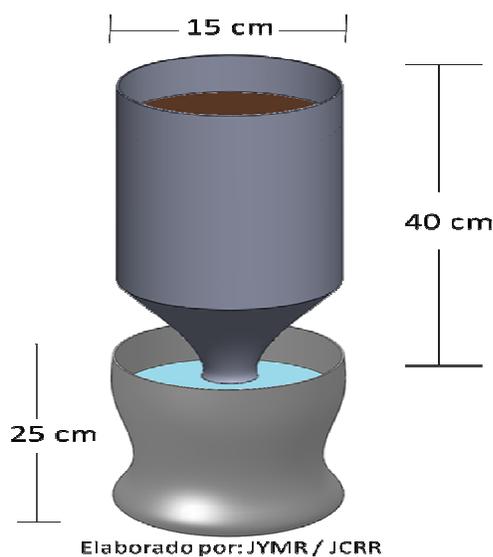
mays exclusivamente con *B. cereus*, con otros géneros y especies de BAPOCEVE, pero no con algún género y especie de actinomiceto endófito como *M. echinospora*, de la que la información asociada con la inoculación en *Z. mays* a dosis regulada de FENI, es pobre o desconocida.^{4,5} Por ello se propuso que este actinomiceto endófito se aplique en *Z. mays* mezclado con *B. cereus* que en la zona de rizosfera convierte exudados de raíz en fitohormonas, mientras *M. echinospora* endófito penetra al interior de las raíces sintetizando SUPOCEVE, así la planta podría mejorar la capacidad de absorción radical del FENI reducido al 50%, lo óptimo al máximo, sin poner en riesgo el sano crecimiento vegetal.^{6,7,18,19,30} Un ejemplo de este hecho, fue en invernadero la respuesta positiva de *Z. mays* en los valores de la fenología y biomasa, cuando se inoculo con *Azotobacter* sp. y *Bacillus megaterium*⁹, registrándose valores numéricos estadísticamente distintos comparados con los de respuesta de *Z. mays* con control relativo (CR). Con base a lo anterior el objetivo de esta investigación fue analizar el crecimiento de *Z. mays* inoculado con *B. cereus* y/o *M. echinospora* a la dosis 50% del FENI.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en el invernadero del laboratorio de Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas (IIQB) de la

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Morelia, Mich, México. La temperatura promedio fue de 23.2 °C, luminosidad de 450 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, humedad relativa de 67%. Para este ensayo se utilizó un suelo no estéril colectado de un sitio ubicado a los 19° 39' 27" de latitud norte 100° 19' 59" de longitud oeste, con una altitud de 1820 msnm de clima templado, en un terreno agrícola denominado "La cajita" perteneciente a la Tenencia Zapata del municipio de Morelia, sobre el km 5 de la carretera Morelia-Pátzcuaro, Mich, México. La textura de este suelo se clasificó como franco-arcilloso, materia orgánica de 4.57% y un pH 6.64 ligeramente ácido.

Figura 1 Diagrama de diseño de una Jarra de Leonard¹⁰



El suelo se solarizó a 70 °C/48 h para minimizar problemas de plagas y enfermedades, después se tamizó con una malla del No. 20. Posteriormente 1.5 kg de suelo se colocó en la parte superior de la Jarra de Leonard, mientras que la solución mineral (SOMI) o agua en el reservorio de la parte inferior, ambas partes se conectaron por una tira de algodón de aproximadamente 20 cm de largo para permitir el

movimiento de la solución por capilaridad al suelo (Figura 1). La semilla de *Z. mays* fue proporcionada por la Secretaria del Ambiente y Recursos Naturales del gobierno de México (SEMARNAT 2018)^{10,12} las cepas de *B. cereus* y *M. echinospora* pertenecen a la colección del Laboratorio de Microbiología Ambiental del IIQB-UMSNH, fueron aisladas de la rizosfera del pasto *Paspalum notatum*.¹ El ensayo se realizó con un diseño experimental de bloques al azar con 5 tratamientos y 5 repeticiones Tabla 1, con 2 controles: i) *Z. mays* sin inocular e irrigado con agua referido como control absoluto (CA), ii) *Z. mays* sin inocular, alimentado con el NH_4NO_3 al 100% o control relativo (CR) y iii) los tratamientos *Z. mays* con *B. cereus* y/o *M. echinospora* alimentado con una solución mineral (SOMI) que contenía el FENI y la siguiente composición química (g/L): NH_4NO_3 12.0, KH_2PO_4 3.0, K_2HPO_4 3.5, MgSO_4 1.5, CaCl_2 0.1, FeSO_4 0.5 mL y 1.5 mL de la solución de oligoelementos (SOL): H_3BO_3 2.86, $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.22, $\text{MnCl}_2\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.81 y K_2MnO_4 0.09 en 1000 mL de agua destilada para plantas, ajustada a pH de 6.8, aplicada c/3días por dos meses. Por su parte *B. cereus* se cultivó en caldo nutritivo (CN) con la siguiente composición (g/L): extracto de carne 3.0, peptona de caseína 5.0 y ajustado a un pH de 7.0, mientras que *M. echinospora* se reprodujo en agar hueso de aguacate (AHA) con la siguiente composición (g/L): hueso de aguacate 10.0, peptona de caseína 5.0, extracto de levadura 1.3, K_2HPO_4 0.17, KH_2PO_4 2.61, MgSO_4 1.5, NaCl 0.9, CuSO_4 0.05, azul de bromotimol 10% (p/v) 10 ppm, solución detergente 2.5 mL al 10%, antifúngico Tecto®60 1.0 mL al 10%, SOL 1.0 mL, agar bacteriológico 18.0, ajustado a un pH de 7.5, ambas BAPOCEVE se incubaron a 30 °C/72 h. Para la inoculación de *Z. mays*: por cada 50 semillas de *Z. mays* se usaron 7.0 mL de *B. cereus* y/o *M. echinospora* a densidad de 2.0×10^6 UFC/mL y 2.1×10^6 UFP

unidades formadoras de propagulos/mL, respectivamente, calculado en base a una cuenta viable en placa en agar nutritivo y AHA.¹¹ Entonces las semillas de *Z. mays* inoculadas con *B. cereus* y/o *M. echinospora*, se sembraron en el suelo de las Jarras de Leonard y creció hasta la fase fisiológica de plántula y floración, a los 15 y 62 días después de su siembra. Al finalizar estos periodos se midió la fe-

nología: altura de planta (AP), longitud radical (LR), número de hojas (NH) y longitud de hoja (LH), mientras que la biomasa: peso fresco y seco, aéreo y radical (PFA/PFR)/(PSA/PSA) de *Z. mays*. Los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) y Tukey HSD $p < 0.05$ con el paquete estadístico Statgraphics Centurion XVI.¹²

Tabla 1 Diseño experimental para analizar el efecto en semillas de *Z. mays* a la inoculación con *B. cereus* y/o *M. echinospora* con el NH_4NO_3 al 50%

Tratamiento/ <i>Z. mays</i> *	<i>B. cereus</i>	<i>M. echinospora</i>	NH_4NO_3 (g/L)
Irrigado con agua (CA)	-	-	-
Alimentado con NH_4NO_3 al 100% (CR)	-	-	10.0
	+	-	5.0
Alimentado con NH_4NO_3 al 50%	-	+	5.0
	+	+	5.0

n*= 5, (+) = aplicado, (-) = no aplicado

Resultados

Tabla 2 Porcentaje y días a emergencia de las semillas de *Z. mays* inoculadas con *B. cereus* y *M. echinospora*, 4 días después de la siembra con el NH_4NO_3 al 50%

Tratamiento/ <i>Z. mays</i> *	Porcentaje y días a germinación de las semillas de <i>Z. mays</i>	
	Porcentaje (%)	(días)
Irrigado con agua (CA)	46.2 ^{c**}	4-5 ^b
Alimentado + NH_4NO_3 al 100% (CR)	51.9 ^b	4-5 ^b
<i>B. cereus</i> + NH_4NO_3 al 50%	94 ^a	3 ^a
<i>M. echinospora</i> + NH_4NO_3 al 50%	42.4 ^d	3 ^a
<i>B. cereus</i> / <i>M. echinospora</i> + NH_4NO_3 al 50%	94 ^a	3 ^a

n*=5, **Letras distintas indican diferencia estadística según Tukey $p < 0.05$

Las semillas de *Z. mays* inoculadas con *B. cereus* y/o *M. echinospora* con el NH_4NO_3 al 50% emergieron a los 3 días, equivalentes a un 94%, valor numérico con diferencia estadística comparado con los 4 y 5 días de emergencia referente al 51.9% de *Z. mays* sin inocular alimentado con el NH_4NO_3 al 100 % referido como CR y el 46.2% de *Z. mays* irrigado solo con agua o CA

Discusión

Los datos expuestos en la tabla 2 señalan que *Z. mays* inoculada solamente con *B. cereus* y en combinación con *M. echinospora* y el NH_4NO_3 al 50%, redujo el tiempo de emergencia de las semillas de *Z. mays* aumentando su porcentaje de crecimiento, la literatura refiere si las semillas se embebieron con

agua reactivaron actividad enzimática de la α -amilasa que cataliza la hidrólisis de almidón, liberando ácidos orgánicos, aminoácidos, azúcares y vitaminas derivadas de la degradación del endospermo, cuando esta gama de compuestos se liberan al exterior afectan positivamente la actividad y crecimiento de los microorganismos asociados a las semillas, denominándose espermatosfera^{15,17,18,31},

mientras su liberación durante el crecimiento de la raíz, al exterior afectan positivamente la actividad y reproducción de las BAPOCEVE efecto denominado rizosfera^{13,14,15} de esta forma *B. cereus* transformo estos exudados de la espermósfera en SU-

POCEVE, lo que sugiere, *M. echinospora* podría invadir el interior de las semilla de *Z. mays* señalando también que es posible convertir estos exudados en fitohormonas y terminar con la latencia para la aparición de la plantula.^{6,16,17}

Tabla 3 Crecimiento de *Z. mays* a *B. cereus* y *M. echinospora* a plántula, 25 días después de la siembra con el NH₄NO₃ al 50%

Tratamiento/ <i>Z. mays</i> *	Altura de Planta	Numero de hojas/planta	Longitud (cm)		Peso fresco (g)		Peso seco (g)	
			Hoja	Raíz	Aéreo	Radical	Aéreo	Radical
Irrigado con agua (CA)	16.7 ^{e**}	2.4 ^d	8.6 ^d	23.4 ^b	0.45 ^c	0.34 ^d	0.05 ^d	0.05 ^c
alimentado con NH ₄ NO ₃ al 100% (CR)	18.0 ^c	2.8 ^c	8.3 ^c	19.9 ^d	0.45 ^c	0.34 ^d	0.11 ^b	0.08 ^b
con <i>B. cereus</i> + NH ₄ NO ₃ al 50%	27.0 ^b	3.4 ^b	12.0 ^b	27.1 ^a	0.87 ^b	0.40 ^c	0.11 ^b	0.06 ^d
con <i>M. echinospora</i> + NH ₄ NO ₃ al 50%	17.2 ^d	3.4 ^b	9.0 ^c	14.0 ^c	0.34 ^d	0.48 ^b	0.06 ^c	0.07 ^c
<i>B. cereus</i> y <i>M. echinospora</i> + NH ₄ NO ₃ al 50%	31.7 ^a	3.6 ^a	13.9 ^a	21.8 ^c	1.16 ^a	0.66 ^a	0.13 ^a	0.10 ^a

n*=5, **Letras distintas indican diferencia estadística según Tukey p<0.05

El nivel de plántula *Z. mays* con *B. cereus* y *M. echinospora* y el NH₄NO₃ al 50% alcanzó una AP de 31.7 cm, valor numérico con diferencia estadística comparado con los 18.0 cm de AP de *Z. mays* sin inocular alimentada con NH₄NO₃ al 100% referido como CR. Mientras que la biomasa *Z. mays* con *B. cereus* y *M. echinospora* y el NH₄NO₃ al 50% registro un PFA de 1.16 g y un PFR 0.66 g, estos valores numéricos tuvieron diferencia estadística comparados con los valores numéricos de 0.45 g de PFA y los 0.24 g en PFR de *Z. mays* utilizado como CR

Tabla 4 Crecimiento de *Z. mays* a *B. cereus* y *M. echinospora* a nivel de floración, 62 días después de la siembra con el NH₄NO₃ al 50%

Tratamiento/ <i>Zea mays</i> *	Altura de Planta	Numero de hojas/planta	Longitud (cm)		Peso fresco (g)		Peso seco (g)	
			Hoja	Raíz	Aéreo	Radical	Aéreo	Radical
Irrigado con agua o CA	43.1 ^{e**}	7.4 ^d	25.5 ^c	33.8 ^a	4.78 ^c	5.8 ^c	0.74 ^d	0.72 ^c
Alimentado + NH ₄ NO ₃ al 100% o CR	72.9 ^d	8.0 ^c	37.8 ^d	21.6 ^c	14.5 ^d	5.9 ^d	1.9 ^c	1.1 ^d
con <i>B. cereus</i> + NH ₄ NO ₃ al 50%	83.0 ^c	7.3 ^c	49.8 ^a	25.2 ^c	38.0 ^c	15.1 ^c	4.3 ^b	2.3 ^b
con <i>M. echinospora</i> + NH ₄ NO ₃ al 50%	91.3 ^a	8.4 ^b	46.3 ^c	28.2 ^b	38.8 ^a	20.5 ^a	4.6 ^a	3.5 ^a
<i>B. cereus</i> y <i>M. echinospora</i> + NH ₄ NO ₃ al 50%	91.1 ^b	9.0 ^a	46.9 ^b	24.3 ^d	38.5 ^b	15.2 ^b	4.6 ^a	2.2 ^c

n* = 5, **Letras distintas indican diferencia estadística según Tukey (p<0.05).

El nivel de floración que *Z. mays* inoculada con *M. echinospora* con el NH₄NO₃ al 50% alcanzó una AP de 91.3 cm, valor numérico estadísticamente diferente comparado con los 72.9 cm en AP de *Z. mays* sin inocular alimentado con el NH₄NO₃ al 100% referido como CR. En tanto que en la biomasa de *Z. mays* con *B. cereus* y *M. echinospora* con el NH₄NO₃ al 50% registró un PFA de 38.5 g y un PFR de 15.2 g, estos valores numéricos tuvieron diferencia estadística comparados con los 14.5 g de PFA y los 5.9 g de PFR de *Z. mays* o CR

En tanto que los datos registrados en la tabla 3, señalan que el sano crecimiento de *Z. mays* fue debida a que tanto, *B. cereus* como *M. echinospora* transformaron estos exudados radicales en SUPOCEVE del tipo auxina y giberelina^{20,30} incrementando la AP, NH, LH y la LR^{18,19}, por tanto fueron capaces de realizar^{20,30} lo que apoyaría a que estos exudados

liberados en raíz serian transformados en diferentes SUPOCEVE: auxina y citocinina que influirían directamente en las variables respuesta de la biomasa, ya sea el PSA y el PSR, pues esta reportado que *M. echinospora*^{4,20,21} sintetiza fitohormonas, lo que respaldaría el sano crecimiento referente a la fenología y biomasa de *Z. mays*, cuando se inoculo indi-

vidualmente con este actinomiceto o en combinación con *B. cereus*, de esa manera los exudados radicales transformados en SUPOCEVE^{1,4,5,6} fueron diversos dadas las diferencias genéticas que existen entre *B. cereus* y *M. echinospora*, dos grupos microbianos que están reportados y coexisten en la naturaleza, interactuando con una amplia variedad de plantas domesticas como silestres.^{9,22,23} Además, algunos metabolitos que se generen durante la fotosíntesis vegetal, pueden ser también transformados por BAPOCEVE en SUPOCEVE^{24,25} que mejoran y optimizan la absorción radical del FENI reducido al 50%, sin afectar el sano crecimiento de *Z. mays*.^{1,23,28}

La tabla 4, presenta el crecimiento sano de *Z. mays* con *B. cereus* y *M. echinospora* a la dosis 50% de NH_4NO_3 en la fenología y biomasa a 62 después de la siembra, debido al efecto rizosfera que libera compuestos orgánicas producto del metabolismo del crecimiento de las raíces, que *B. cereus* transformó en auxinas y giberelinas que indujeron la meiosis y mitosis del tejido de la raíz, facilitando la exploración del suelo, e incremento la absorción radical y optimización de la dosis de NH_4NO_3 reducido al 50%.^{10,26} En tanto, y dado el carácter de endófito de *M. echinospora* se sugiere que invadió la endodermis de la raíz de *Z. mays*^{27,25,7} para así generar fitohormonas que estimularen un crecimiento acelerado del sistema radical^{1,28,29} y simultáneamente *B. cereus* colonice la superficie externa de la raíz, para continuar con la conversión de los compuestos orgánicos liberados por el efecto rizosfera que son atractivos para los géneros y especies de BAPOCEVE para que al interactuar con el sistema de raíces de *Z. mays* se establezca una interacción positiva y en consecuencia^{30,15} se mejore y optimice la absorción radical del NH_4NO_3 reducido al 50%.

Con estos resultados se concluye que es posible evitar la hiperfertilización nitrogenada en el cultivo de *Z. mays* mediante la aplicación de BAPOCEVE de manera individual o en combinación con un género rizosferico como *B. cereus* y un actinomiceto endófito del tipo *M. echinospora*, para que a traves de SUPOCEVE, faciliten la absorción y optimización de la dosis de NH_4NO_3 al 50 %, sin afectar negativamente el sano crecimiento de *Z. mays*.

Además, combinación de géneros y especies de BAPOCEVE, es una nueva alternativa a las ya conocidas de géneros y especies convencionales de BAPOCEVE^{18,32} útiles en la producción sustentable de *Z. mays*, que evitan el exceso de FENI y la pérdida de productividad del suelo.

Conflictos de intereses

Los autores de esta investigación declaramos que no existe ningún conflicto de interés entre los participantes del trabajo y/o con las instituciones que lo realizamos como tampoco con las instituciones que la apoyaron.

Agradecimientos

Al proyecto 2.7 (2019) apoyado por la Coordinación Investigación Científica-UMSNH y BIONUTRA S.A de CV, Maravatío, Mich, México por la beca para el primer autor.

Aspectos éticos

La aprobación de la investigación por el Comité de Ética, de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo - México, siguió las pautas establecidas para este comité.

Literatura citada

1. Loredó Osti C, López Reyes L, Espinosa Victoria D. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: Una revisión. *Terra Latinoam* 2004;22 (2):225-39.
2. Martínez E, Beltrán E, López J. La arquitectura radicular del maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia Nicolaita* 2011;(53):48-60.
3. Sánchez Yáñez JM, Ayala López IY, Villegas Moreno J, Montañó Arias NM. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la inoculación con *Azotobacter* sp. y *Burkholderia* sp. a dosis reducida de fertilizante nitrogenado. *Scientia Agropecuaria* 2014;5(1):17-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.01.02>
4. Mishra SK, Taft WH, Putnam AR, Ries SK. Plant growth regulatory metabolites from novel actinomycetes. *J Plant Growth Regul* 1987;6(2): 75-83. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/BF02026457>
5. Hirsch AM, Valdés M. *Micromonospora*: An important microbe for biomedicine and potentially for biocontrol and biofuels. *Soil Biol Biochem* 2010;42(4):536-42. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.11.023>
6. Bhattacharjee RB, Singh A, Mukhopadhyay SN. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Appl Microbiol Biotechnol* 2008;42(4):80(2):199-209. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00253-008-1567-2>
7. Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Ann Rev Microbiol* 2009;63: 541-56. DOI: <https://dx.doi.org/10.1146/anurev.micro.62.081307.162918>
8. Kumar A, Prakash A, Johri BN. *Bacillus* as PG PR in crop ecosystem. In: *Bacteria in agrobiology*, editors. Crop ecosystems. Maheshwari DK. Springer: Berlin, Germany; 2011. p. 37-59.
9. López M, Martínez Viera R, Brossard Fabrè M, Bolívar A, Alfonso N, Alba A, et al. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de *Zea mays* en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía Trop* 2008;58(4): 391-401.
10. García González MM, Farías Rodríguez R, Peña Cabrales JJ, Sánchez Yáñez JM. Inoculación del trigo var. Pavón con *Azospirillum* spp. y *Azotobacter beijerinckii*. *Terra Latinoam* 2005;23(1): 65-72.
11. Sánchez-Yáñez JM. Breve Tratado de Microbiología Agrícola, Teoría y Práctica. Ed. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Cidem, Secretaria de Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de Michoacán. Consutenta, SA de CV Morelia, Mich. Mexico; 2007. p. 130-3, 136-8, 153-5.
12. Secretaria del ambiente y recursos naturales del gobierno de México 2018 (SEMARNAT, 2018). Disponible en: www.gob.mx
13. Glick BR. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol* 1995;41(2): 109-17. DOI: <https://dx.doi.org/10.1139/m95-015>
14. Cakmakci R, Dönmez MF, Erdoğan Ü. The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turk J Agric For* 2007;31(3):189-99.
15. Cassan F, Perrig D, Sgroy V, Masciarelli O, Penna C, Luna V. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.). *Eur J Soil Biol* 2009;45(1):28-35. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.08.005>

16. Gholami A, Shahsavani S, Nezarat S. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Int J Biol Life Sci* 2009;1(1):35-40.
17. Ashrafuzzaman M, Hossen FA, Ismail MR, Hoque A, Islam MZ, Shahidullah, SM, Meon S. Efficiency of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for the enhancement of rice growth. *Afr J Biotechnol* 2009;8(7):1247-57.
18. Alizadeh O, Sharafzadeh S, Firoozabadi AH. The effect of plant growth promoting rhizobacteria in saline condition. *Asian J Plant Sci* 2012;11(1):1-8. DOI; <https://dx.doi.org/10.3923/ajps.2012.1.8>
19. Vessey JK. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil* 2003; 11(1):255(2): 571-85. DOI: <https://dx.doi.org/10.1023/A:1026037216893>
20. Shaukat K, Affrasayab S, Hasnain S. Growth responses of *Triticum aestivum* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. *Res J Microbiol* 2006;1(4):330-8. DOI: <https://dx.doi.org/10.3923/jm.2006.330.338>
21. Mehnaz S, Kowalik T, Reynolds B, Lazarovits G. Growth promoting effects of corn (*Zea mays*) bacterial isolates under greenhouse and field conditions. *Soil Biol Biochem* 2010;42(10):1848-56. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.07.003>
22. Puente ML, García JE, Maroniche GA, Arguisain GG, Pirchi HJ, Peticari A. Plant-growth promotion of argentinean isolates of *Azospirillum brasilense* on rice (*Oryza sativa* L.) under controlled and field conditions *Am Eurasian J Agric Environ Sci* 2013;13(10):1361-9. DOI: <https://dx.doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2013.13.10.11236>
23. Lucy M, Reed E, Glick BR. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek* 2004;86(1):1-25. DOI: <https://dx.doi.org/10.1023/b:anto.0000024903.10757.6e>
24. Idris EE, Iglesias DJ, Talon M, Borriss R. Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid (IAA) affects level of plant growth promotion by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Mol Plant Microbe Interac* 2007;20(6):619-26. DOI: <https://dx.doi.org/10.1094/mpmi-20-6-0619>
25. Prévost D, Saddiki S, Antoun H. Growth and mineral nutrition of corn inoculated with effective strains of *Bradyrhizobium japonicum*. In: Proceedings of the 5th International PGPR Workshop Conference; 2000 Oct 29- Nov 3; Villa Carlos Paz: Argentina; 2000. DOI: <https://dx.doi.org/10.13140/2.1.5190.9120>.
26. Merzaeva OV, Shirokikh IG. Colonization of plant rhizosphere by actinomycetes of different genera. *Microbiology* 2006;75(2):226-30. DOI: <https://dx.doi.org/10.1134/S0026261706020184>
27. Hernández-Escareño JJ, Morales PG, Fariás-Rodríguez R, Sánchez-Yañez JM. Inoculación de *Burkholderia cepacia* y *Gluconacetobacter diazotrophicus* sobre la fenología y biomasa de *Triticum aestivum* var. Nana F2007 a 50% de fertilizante nitrogenado. *Scientia Agropecuaria* 2015; 6(1):7-16. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.01.01>
28. Coombs JT, Franco CM. Isolation and identification of Actinobacteria from surface-sterilized wheat roots. *Appl Environ Microbiol* 2003;69(9): 5603-8. DOI; <http://dx.doi.org/10.1128/aem.69.9.5603-5608.2003>
29. García Olivares JG, Moreno Medina VR, Rodríguez Luna IC, Mendoza Herrera A, Mayek Pérez N. Biofertilización con *Azospirillum brasilense* en sorgo, en el norte de México. *Agric Téc Méx* 2006;32(2):135-41.

-
30. Khorshidi YR, Ardakani MR, Ramezanzpour MR, Khavazi K, Zargari K. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) to *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum lipoferum* under different nitrogen levels. Am Eurasian J Agric Environ Sci 2011;10(3):387-95.
31. Bloemberg GV, Lugtenberg BJ. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. Curr Opin Plant Biol 2001;4(4):343-50.
32. Siddiqui ZA. PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Netherlands: Springer; 2006. p. 111-42. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-52-7>.
-