



Revista Colombiana de Biotecnología

ISSN: 0123-3475

revcbib_bog@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Valery, Alexis; Reyes, Isbelia

Evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento bajo diferentes esquemas de fertilización en el cultivo de maíz variedad HIMECA-95

Revista Colombiana de Biotecnología, vol. XV, núm. 2, diciembre, 2013, pp. 81-88

Universidad Nacional de Colombia

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77629802010>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento bajo diferentes esquemas de fertilización en el cultivo de maíz variedad *HIMECA-95*

Evaluation of growth promoting rhizobacteria under different fertilization schemes in maize variety *HIMECA-95*

Alexis Valery*, Isbelia Reyes**

Resumen

Bacterias previamente aisladas, y caracterizadas como diazotróficas y disolventes de fosfatos inorgánicos se evaluaron en campo como promotoras del crecimiento vegetal en la producción de maíz variando las condiciones de fertilidad del suelo. Las cepas MF1b y MF5, en forma individual y en consorcio, se inocularon en semillas de maíz (*HIMECA-95*), y se sembraron bajo las siguientes condiciones de fertilización química: K, NK, PK, RK, NPK, y NRK (R: roca fosfórica). Al final del ensayo se determinó el peso seco total, y los contenidos de N y de P presentes en el grano para luego calcular el porcentaje de eficiencia agronómica relativa (%EAR). Los resultados obtenidos mostraron que la inoculación con la cepa MF5 en forma individual y en consorcio, con una fertilización química de NK, incrementaron la EAR del peso seco del grano en 130 y 403%, el contenido de N en 463 y 116%, y el de P en 152 y 376%, respectivamente, logrando un aumento en la producción del grano de maíz y su calidad. Asimismo, se observó una variabilidad en las respuestas de los parámetros evaluados, lo cual podría deberse a los bajos contenidos de N y P del suelo, a los cambios en la fertilidad del suelo por la adición de los fertilizantes de alta solubilidad, y a la interacción entre las comunidades microbianas autóctonas y las bacterias introducidas. Se concluye que la efectividad de los microorganismos con potencial como biofertilizante para la agricultura sea evaluada cuidadosamente bajo diversas condiciones de fertilidad de los suelos.

Palabras clave: PGPR, fertilidad del suelo, bacterias diazotróficas, consorcio bacteriano, rendimiento.

Abstract

Bacteria previously isolated, characterized as diazotrophic and inorganic phosphate solubilizers were evaluated under field conditions as plant growth promoters on the maize production when soil fertility was changed. The strains MF1b and MF5, alone and in consortium, were inoculated on maize seeds (*HIMECA-95*), and these were sown under the following chemical fertility conditions: K, NK, PN, RK, NPK, and NRK (R: phosphate rock). Total dry weight, and N and P contents of the grain were determined at the end of the experiment; also, the % of relative agronomic efficiency (RAE) was calculated. Results showed that inoculation with the strain MF5 alone and in consortium, with the addition of NK fertilizer increased the % RAE in 130 and 403 for the dry weight, in 463 and 116 for the N content, and in 152 and 376 for the P content, respectively, allowing an increase in both production and grain quality. Moreover, it was observed variations among the evaluated parameters which could be related to the low N and P status of the soil, the soil fertility changes after the addition of the highly soluble chemical fertilizers, and the interaction between autochthonous microbial communities and the introduced

* Mg en Agronomía. Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. avalery@unet.edu.ve

** Ph.D.; Laboratorio de Biofertilizantes, Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela. avalery@unet.edu.ve ; isreyes@unet.edu.ve.

bacteria. It is concluded that the affectivity of a potential microbial biofertilizer for agriculture should be carefully evaluated under different fertility conditions of soils.

Key words: PGPR, soil fertility, diazotrophic, bacteria consortium, yield.

Recibido: septiembre 15 de 2012

Aprobado: noviembre 12 de 2013

Introducción

En la mayoría de los suelos tropicales la limitada disponibilidad de elementos nutritivos para la producción de los cultivos ha conllevado a un exceso en la aplicación de agroquímicos, lo que a su vez ha generando un deterioro progresivo de los suelos agrícolas (Pimentel *et al.*, 2005). En la última década se han evaluado estrategias en la fertilización de los cultivos, especialmente en lo referente a suplir los requerimientos de nitrógeno (N) y fósforo (P). Entre algunas de estas estrategias están la selección y modo de aplicación de diferentes tipos de fertilizantes químicos, incorporación de enmiendas orgánicas, rotación de cultivos, entre otras; buscando todas ellas una mayor eficiencia en la producción y conservación de los suelos (Santilla, 2006).

En la actualidad se plantean alternativas de manejo que permitan mantener o incrementar los rendimientos y reducir la contaminación por el uso excesivo de los agroquímicos, entre las que se encuentran las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV), que al ser aplicadas directamente al suelo ó inoculadas en las semillas promueven un mejor desarrollo del crecimiento vegetal. Las RPCV actúan en la disponibilidad de macronutrientes y micronutrientes mediante la fijación biológica del N y la disolución de minerales, intervienen en la aceleración de procesos de mineralización de insumos orgánicos y la síntesis de fitohormonas que aceleran el desarrollo de las raíces (Ahemad y Kibret, 2013). Asimismo, pueden estimular indirectamente el crecimiento, actuando como agentes biocontroladores (Vessey, 2003).

Bacterias diazotróficas de vida libre o simbióticas de géneros tales como *Azotobacter* (Balemi *et al.*, 2007), *Azospirillum* (El-Howeity y Asfour, 2012), y *Pseudomonas* (Rosas *et al.*, 2006), entre otras, han sido utilizadas en diferentes trabajos relacionados con la promoción del crecimiento de muchos cultivos comerciales y ornamentales, tales como tomate (Almaghrabi *et al.*, 2013), garbanzo (Rudresh *et al.*, 2005), canola (El-Howeity y Asfour, 2012), arroz (Meunchang *et al.*, 2006) y maíz (Hameeda *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2008), facilitando en gran medida la absorción de nutrientes por estos cultivos. De igual manera, muchas de estas cepas po-

seen la capacidad para manifestar más de un mecanismo de acción, como la fijación biológica de N, la disolución de fosfatos inorgánicos (Reyes *et al.*, 2006) y la producción de ácido índol acético (Meunchang *et al.*, 2006). En este trabajo, bacterias previamente aisladas y caracterizadas como diazotróficas de vida libre, y con capacidad para disolver fosfatos inorgánicos por Reyes y Valery (2007), fueron empleadas con el objetivo de determinar su potencial como RPCV en la producción del cultivo de maíz al variar las características de fertilidad de un suelo en condiciones de campo.

Materiales y métodos

Bioinoculación de la semilla de maíz

Las cepas bacterianas usadas fueron MF1b y MF5, previamente aisladas de la rizósfera de plantas silvestres provenientes de suelos bajo explotación minera de los fosfatos minerales de Monte Fresco, localizada en las cercanías a la población de San Pedro del Río, Municipio Ayacucho, Estado Táchira, Venezuela y caracterizadas como fijadores de nitrógeno de vida libre y disolventes de fosfatos minerales (Reyes y Valery, 2007). Se utilizaron semillas de maíz del híbrido HIMECA-95, las cuales se desinfectaron con etanol (70% por 8 min) y seguidamente con hipoclorito de sodio (NaClO) (5% por 15 min), lavándose posteriormente 4 veces consecutivas con agua desionizada estéril. Con anterioridad se preparó una suspensión bacteriana de 1×10^8 UFC/ml con las cepas bacterianas en forma individual, luego de un crecimiento de 24 horas en un medio de caldo nutritivo (10%) en condiciones de laboratorio, y para el tratamiento en consorcio se mezclaron las suspensiones ya preparadas en iguales proporciones (1:1). A cada suspensión, se le agregó una solución de alginato de sodio (2%) como adherente bacteriano en las semillas (Chitiva y Dussán, 2003). Por último, las semillas se colocaron en una fiola con la suspensión final, llevándolas a agitación constante durante 30 min, posteriormente se escurrieron y se dejaron secar por 18 h dentro de una cámara de flujo laminar.

Ensayo de campo

Se seleccionó un área de terreno en la Unidad Académica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira, "La Tuquerena", ubicada en el Municipio Junín del Estado Táchira, Venezuela, caracterizada como un suelo franco arcilloso; pH de 4,49; 0,06 mmhos/cm de C.E.; 1,34% de materia orgánica; 3 ppm de P; 43 ppm de K; 150 ppm de Ca y 36 ppm de Mg. El área fue dividida en cuatro bloques, donde se distribuyeron todos los tratamientos del ensayo en forma aleatorizada, obteniendo un total de cuatro repeticiones por tratamiento. Cada bloque fue marcado con 72 hileras de 6 m de ancho cada una, separadas entre sí a 70 cm, cada tres hileras representaron una repetición del tratamiento evaluado; en cada hilera se sembró un total de 40 semillas, a razón de dos semillas cada 30 cm y a 5 cm de profundidad.

Se utilizó un diseño experimental bifactorial en bloques, siendo el primer factor la inoculación biológica con cuatro niveles correspondientes a las cepas MF1b, MF5 (en forma individual), la suspensión en consorcio de las mismas, y un tratamiento no inoculado (testigo). El segundo factor consistió en seis niveles de fertilización química correspondientes a: 1) cloruro de potasio; 2) nitrato de amonio y cloruro de potasio; 3) fosfopoder® y cloruro de potasio; 4) roca fosfórica pulverizada y cloruro de potasio; 5) nitrato de amonio, fosfopoder y cloruro de potasio; 6) nitrato de amonio, roca fosfórica pulverizada y cloruro de potasio. Se aplicó para cada tratamiento lo recomendado según un previo análisis del suelo y los requerimientos del cultivo (Ramírez *et al.*, 1978), para lo cual se calculó agregó en cada tres hileras: 180 g de nitrato de amonio (un tercio de esta cantidad se aplicó al momento de la siembra y el restante 30 días después de la siembra), 117 g de fosfopoder, 92 g de cloruro de potasio y 163 g de roca fosfórica micronizada. Estas tres últimas dosis de fertilizantes fueron colocadas completamente al momento de la siembra. Se utilizó la roca fosfórica micronizada proveniente de las minas de Monte Fresco, Estado Táchira, con aproximadamente 11,8% de P total.

Recolección y análisis de datos

La cosecha fue realizada a los cuatro meses después de la siembra. Se recolectaron tres mazorcas de cada tratamiento por cada uno de los bloques en forma aleatorizada en la hilera central, para un total de nueve mazorcas por tratamiento. Estas se secaron en estufa a 70 °C por 96 horas, después se desgranaron, se determinó el peso seco total, el contenido de N y de P del grano (Temminghoff y Houba, 2004), y el por-

centaje de eficiencia agronómica relativa (%EAR) para cada tratamiento, para lo cual se utilizó la fórmula de León *et al.* (1986), $\%EAR = ((A-B)/B) \times 100$, siendo A el tratamiento inoculado y B el tratamiento testigo o no inoculado. El resultado de la ecuación genera un porcentaje peso/peso (p/p) del comportamiento en aumento o descenso en relación al testigo o tratamiento no inoculado para las variables evaluadas, siendo una metodología frecuentemente empleada para evaluar el efecto del uso de roca fosfórica (Matheus *et al.*, 2007).

Los datos obtenidos en los diferentes tratamientos inicialmente fueron analizados para la verificación de la homogeneidad de la varianza mediante la prueba de Bartlett y posteriormente se trataron con el análisis de la varianza (ANOVA) y para determinar la diferencia entre las medias se aplicó la prueba de mínima diferencia significativa de Fisher (LSD) para cada uno de los niveles de fertilización química por separado, con un nivel de significación de $P < 0,05$ y $P < 0,001$, mediante la hoja de cálculo gnumeric utilizando el sistema operativo Linux.

Resultados y discusión

La mayoría de los cultivos requieren condiciones de suelo que les permitan expresar su potencial de producción, dichas condiciones son particulares para cada cultivo, variando en un rango de valores los parámetros físicos y químicos. De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis químico del suelo utilizado, se observó que éste se caracterizó por ser fuertemente ácido ($pH < 5$), con un bajo contenido de materia orgánica ($< 3\%$) y deficiente en contenidos de P, K y Mg como macroelementos nutritivos disponibles para las plantas, condiciones que normalmente restringen el rendimiento esperado de un cultivo (Meléndez *et al.*, 2006).

Los resultados obtenidos en relación al peso seco del grano en los tratamientos no inoculados, mostraron que los rendimientos variaron en función de la disponibilidad de los elementos químicos aplicados, encontrándose los mismos entre 140 y 1298 kg/hade peso seco del grano, y obteniéndose el mayor valor con la fertilización NPK (tabla 1). De igual manera, se observó que la aplicación de P en forma de roca fosfórica (NRK) disminuyó en un 50% el valor del peso seco del grano en relación al tratamiento con NPK. El resto de los tratamientos (K, NK, PK y RK) confirmaron la pobreza y desbalance del estado nutricional de este suelo.

Tabla 1. Peso seco del grano y porcentaje de eficiencia agronómica relativa (% EAR) de las plantas de maíz en parcelas sometidas a diferentes fuentes de inoculación biológica y de fertilización química

Fuente de		Peso seco del grano ^a (g/planta)	%EAR del grano/ planta	Peso seco (kg/ha)
Inoculación biológica	Fertilización química			
Sin inóculo	K	2,94 ± 1,84		139,8
	NK	3,46 ± 1,58		164,8
	PK	9,84 ± 4,27		468,4
	RK	9,10 ± 3,86		433,3
	NPK	27,27 ± 8,67		1298,4
	NRK	12,61 ± 6,76		600,3
MF1b	K	1,83 ± 0,89	-37,76	87,3
	NK	4,39 ± 0,71	26,88	209,0
	PK	6,78 ± 2,35	-31,10	322,7
	RK	1,81 ± 0,67	-80,11	86,2
	NPK	5,39 ± 1,24	-80,23	256,7
	NRK	11,81 ± 3,83	-6,34	562,2
MF5	K	2,90 ± 0,69	-1,36	138,3
	NK	7,96 ± 2,34	130,06	379,0
	PK	6,70 ± 1,28	-31,91	319,0
	RK	2,20 ± 0,27	-75,82	104,6
	NPK	28,63 ± 4,45	4,99	1363,5
	NRK	16,49 ± 5,97	30,77	785,1
Consortio	K	0,62 ± 0,25	-78,91	29,5
	NK	17,42 ± 5,22*	403,47	829,4
	PK	4,33 ± 1,54	-56,00	206,3
	RK	1,45 ± 0,35	-84,07	69,0
	NPK	32,20 ± 3,90	18,08	1533,3
	NRK	21,80 ± 3,44	72,88	1039,7

^a Promedio y desviación estándar de 9 replicas;

* Corresponde a una diferencia significativa a $P < 0,05$ y

** A una diferencia altamente significativa a $P < 0,01$

Los resultados del peso seco del grano mostraron que en la mayoría de las condiciones de fertilización química las respuestas del cultivo variaron en función del factor microbiológico, al compararse con los tratamientos no inoculados. La utilización de la cepa MF5 y el consorcio mostraron que bajo la condición de fertilización química con NK se generó un efecto benéfico sobre la acumulación del peso seco del grano, con incrementos en la EAR de 130% (p/p) con la cepa MF5 y de 403,5% (p/p) con el consorcio, en

relación al testigo no inoculado (tabla 1). Resultados similares han sido reportados por otros autores, por ejemplo, Valverde *et al.*, (2006) muestran que un consorcio entre *Mesorhizobium ciceri* y *Pseudomonas jessenii* incrementaron el crecimiento de plantas de garbanzo; así mismo Kumar *et al.*, (2001) observaron que co-inoculaciones de *Pseudomonas* and *Rhizobium* incrementaron el rendimiento de plantas de guisantes, resultados que se muestran dependientes de las condiciones de trabajo tales como las características del

suelo o sustrato donde se evaluó el cultivo y las condiciones ambientales, entre otras. Asimismo, una falta de respuesta o una respuesta negativa a la inoculación posiblemente se deba a los bajos niveles de fertilidad y de contenido de materia orgánica del suelo utilizado en este ensayo, condiciones que generan una competencia por los nutrientes entre las plantas y los microorganismos introducidos (Chabot *et al.*, 1996; Reyes *et al.*, 2002). Todo lo anterior concuerda con lo expresado por Gyaneshwar *et al.*, (2002), quienes señalan que la variación de la eficiencia de los microorganismos inoculados se debe a factores como las propiedades físico-químicas y las deficiencias nutricionales del suelo, al crearse sitios de estrecha competición entre la planta y los microorganismos por la absorción de los nutrientes. Por esta razón, se considera que las deficiencias nutricionales naturales del suelo utilizado en este trabajo y el efecto de la aplicación de la fertilización química indujeron rendimientos muy amplios, entre 29,5 y 1533,3 kg/ha (tabla 1), siendo igualmente valores muy inferiores al promedio de producción nacional para el maíz híbrido HIMECA-95, cuyo valor ha sido reportado entre 5570 y 6017 kg/ha (Alfaro *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2000).

Como en el peso seco, el grado de fertilidad y la inoculación microbiana provocaron variaciones en el contenido de N del grano. En el tratamiento no inoculado y bajo condiciones de fertilización completa (NPK), el grano presentó 2,23% de N (tabla 2), valor que se encuentra por arriba del rango reportado (1,35-2,06% N) para diferentes materiales de maíz amarillo (Alfaro *et al.*, 2009). Adicionalmente, bajo estas mismas condiciones de fertilización la aplicación de la cepa MF1b generó un incremento aparente (significativo, $P < 0,05$) del contenido de N, con un valor de 4,75% N, dado al efecto de la concentración de este elemento en el grano debido al bajo peso seco del grano/planta. Por el contrario, al inocularse la cepa MF5 en la fertilización con NK y al compararse con el mismo tratamiento químico del testigo no inoculado, es notable el incremento ($P < 0,05$) de la acumulación de N en el grano, el cual es equivalente a 3,83% mostrando una EAR de 462,7% (p/p), resultado que señala el efecto benéfico de la inoculación de esta cepa en la calidad (tabla 2) y peso del grano (tabla 1). Al aplicarse el consorcio microbiano con NRK se observó un importante incremento correspondiendo a 297% (p/p) de EAR del N en el grano, valor que muestra el efecto sinérgico de las dos cepas diazotróficas si lo comparamos con los valores obtenidos con la misma fertilización y las inoculaciones en forma individual (tabla 2), resultado consistente con la respuesta del peso seco del grano (tabla 1) como ya se señaló. Situación similar fue presentada por El-Kholy

et al., (2005) al observar que la inoculación en forma individual o en consorcio de *Azospirillum* y *Rhodotula* no presentaron diferencias significativas en la producción del grano pero sí incrementaron el contenido de N en el grano. Así mismo, si se comparan los resultados de este tratamiento, NRK, con los de la fertilización RK, se puede observar el efecto de la adición del N sobre la movilización de los nutrientes de la roca fosfórica, produciéndose probablemente la disolución del mineral por la interacción sinérgica del consorcio microbiano y traducido en una respuesta benéfica en el grano. Resultados similares fueron presentados por Díaz Vargas *et al.*, (2001), quienes sugieren un posible sinergismo entre los microorganismos inoculados y las plantas evaluadas.

La concentración de P medida en el grano en el tratamiento sin inoculación y con fertilización completa (NPK) presentó un valor de 0,67%P (tabla 3) la cual se encontró por arriba del rango de 0,29 a 0,50% del reportado para diferentes materiales de maíz amarillo (Alfaro *et al.*, 2009). De igual forma se puede observar que el tratamiento no inoculado con NPK, incrementó la asimilación de P en el grano respecto a los tratamientos inoculados con MF1b y en consorcio bajo esta misma fertilización, y que la inoculación de cepa MF5 incrementó la EAR de 36, 48,9 y 152% (p/p), tanto con NPK, con K, como con NK, respectivamente, mostrando una mejor asimilación de este elemento por parte de la planta. De manera similar, la inoculación en consorcio con la fertilización NK presentó un incremento en la EAR de 375,5% (p/p). En muchos casos ha sido reportado que en tratamientos comerciales la inoculación de microorganismos mejora grandemente la asimilación de los nutrientes, ejemplo de esto se observa en el cultivo de soya donde diferentes inoculantes incrementaron el rendimiento del cultivo (peso seco) y la asimilación de N y P en el grano (Sandeep *et al.*, 2008), probablemente debido a la interacción del inoculante con la rizosfera donde se incrementan los sitios de absorción.

Por otra parte, un incremento en el peso seco del grano, con una disminución de su contenido de N y P, como se observa en el tratamiento del consorcio con la condición de fertilización NPK, pudiera ser la respuesta de otros mecanismos de acción de las cepas inoculadas, como por ejemplo la producción de sustancias biológicas activas, entre las que destacan las hormonas de crecimiento auxinas y giberelinas (Vessey, 2003; El-Kholy *et al.*, 2005; Egamberdieva 2008).

De manera que, la variabilidad en las respuestas de los parámetros evaluados con estas bacterias, estaría sujeta a condiciones tales como: (i) bajos contenidos de N

Tabla 2. Porcentaje de nitrógeno en el grano (% N) y su porcentaje de eficiencia agronómica relativa EAR (%) de plantas de maíz en parcelas sometidas a diferentes fuentes de inoculación biológica y de fertilización química

Fuente de		% N ^a	EAR (%) de N del grano/planta
Inoculación biológica	Fertilización química		
Sin inóculo	K	2,19	
	NK	1,77	
	PK	0,62	
	RK	1,01	
	NPK	2,23	
	NRK	0,92	
MF1b	K	1,12	-64,31
	NK	0,68	-45,28
	PK	3,84 **	316,02
	RK	1,29	-73,18
	NPK	4,75	-55,53
	NRK	1,04	25,24
MF5	K	1,85	-0,66
	NK	3,83 **	462,73
	PK	1,13	29,10
	RK	0,89	-75,64
	NPK	1,37	-32,53
	NRK	0,69	17,04
Consortio	K	1,13	-87,08
	NK	0,68	116,13
	PK	0,77	-44,34
	RK	1,31	-78,27
	NPK	1,44	-20,36
	NRK	1,73 **	297,15

^a Promedio y desviación estándar de 9 replicas;

* Corresponde a una diferencia significativa a $P < 0,05$ y

** A una diferencia altamente significativa a $P < 0,01$

Tabla 3. Porcentaje de fósforo en el grano (%P) y su porcentaje de eficiencia agronómica relativa EAR (%) de plantas de maíz en parcelas sometidas a diferentes fuentes de inoculación biológica y de fertilización química

Fuente de		% P ^a	EAR (%) de P del grano/planta
Inoculación biológica	Fertilización química		
Sin inóculo	K	0,46	
	NK	0,49	
	PK	0,42	
	RK	0,59	
	NPK	0,67	
	NRK	0,62	
MF1b	K	0,44	-41,00
	NK	0,42	17,03
	PK	0,48	-29,31
	RK	0,68	-77,21
	NPK	0,47	-73,67
	NRK	0,66	-3,20
MF5	K	0,68 *	48,86
	NK	0,51 *	151,97
	PK	0,50	-59,50
	RK	0,61	-74,18
	NPK	0,65 *	36,08
	NRK	0,40	-17,76
Consortio	K	0,49 *	-77,46
	NK	0,45 *	375,65
	PK	0,64	-67,60
	RK	0,55	-79,02
	NPK	0,50	-9,92
	NRK	0,44	19,20

^a Promedio y desviación estándar de 9 replicas;

* Corresponde a una diferencia significativa a $P < 0,05$ y

** A una diferencia altamente significativa a $P < 0,01$

y P del suelo que propicien competencias por nutrientes entre la planta y los microorganismos inoculados, y en consecuencia generen un enmascaramiento de la acción de estas cepas; (ii) las fuentes de fertilización química aplicadas de alta solubilidad que estimulen o inhiban el metabolismo de las cepas inoculadas; y (iii) la presencia de las comunidades microbianas autóctonas de la rizosfera quienes establecen interrelaciones como sinergismo, antagonismo y competencia por los exudados radicales de la planta y por los nutrientes en el suelo.

Conclusiones

La cepa utilizada en esta investigación MF5 y el consorcio de MF1b-MF5, mostraron potencial para incre-

mentar la producción del grano y la calidad nutricional del cultivo del maíz únicamente con el uso de una fertilización de NK. De igual forma, se encontró un cierto poder discriminativo de estas cepas ante las condiciones de fertilidad del suelo utilizado; en consecuencia, el uso de microorganismos con potencial como biofertilizante para la agricultura debe evaluarse cuidadosamente en diversas condiciones de fertilidad de los suelos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Decanato de Investigación de la UNET por el financiamiento suministrado a través del proyecto No. 02-001-2001. De igual forma, al téc-

nico de laboratorio Douglas Torrelles por su incondicional colaboración en campo.

Referencias bibliográficas

- Ahemad, M. y Kibret, M. 2013. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University-Science*. En prensa.
- Alfaro, Y., Segovia, V., Monasterio, P. y Silva R. 2009. Evaluación del rendimiento, sus componentes y la calidad de grano en híbridos simples de maíz amarillo. *Revista UDO Agrícola*. 9 (4): 728-742
- Almaghrabi, O. A., Massoud, S. I. y Abdelmoneim, T. S. 2013. Influence of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on tomato plant growth and nematode reproduction under green house conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 20 : 57-61.
- Balemi, T., Pal N. y Saxena, A. K. 2007. Response of onion (*Allium cepa* L.) to combined application of biological and chemical nitrogenous fertilizer. *Acta Agriculturae Slovenica*. 89 (1): 107-114.
- Chabot, R., Antoun H. y Cesca, M. P. 1996. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovarphaseoli. *Plant and Soil*. 184: 311-321.
- Chitiva, L. y Dussan, J. 2003. Evaluación de matrices para la inmovilización de *Pseudomonas* spp. en biorremediación de fenol. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 5 (2): 5-10
- Díaz Vargas, P., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J. J. y Alcantar Gonzalez, G. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *TERRA*. 19(4): 327-335.
- Egamberdieva, D. 2008. Plant growth promoting properties of rhizobacteria isolated from wheat and pea grown in loamy sand soil. *Turkish Journal of Biology*. 32: 9-15.
- El-Howeity, M.A. y Asfour, M.M. 2012. Response of some varieties of canola plant (*Brassica napus* L.) cultivated in a newly reclaimed desert to plant growth promoting rhizobacteria and mineral nitrogen fertilizer. *Annals of Agricultural Science*. 57(2) : 129-136
- El-Kholy, M.A., El-Ashry S. y Gomaa. A. M. 2005. Biofertilization of maize crop and its impact on yield and grains nutrient content under low rates of mineral fertilizers. *Journal of Applied Sciences Research*. 1 (2) : 117-121.
- Gyaneshwar, P., Naresh Kumar, G., Parekh, L. J. y Poole, P. S. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil*. 245: 83-93.
- Hameeda, B.; Harini, G., Rupela, O. P., Wani, S. P. y Reddy, G. 2008. Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. *Microbiology Research*. 163: 234-242.
- Hernández L., M. M., Mejía A., J. y Lazo A., J. V. 2000. Selectividad de nicosulfuron (4% SC) en cuatro híbridos dobles de maíz amarillo (*Zea mays* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela*. 26: 79- 89.
- Kumar, B. S. D., Berggren I. y Mårtensson. A. M. 2001. Potential for improving pea production by co-inoculation with fluorescent *Pseudomonas* and *Rhizobium*. *Plant and Soil*. 229: 25-34.
- León, L. A., Fenster, W. E. y Hammond, L. L. 1986. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú, and Venezuela. *Soil Science Society of America Journal*. 50: 798-802.
- Matheus L., J., Caracas, J., Montilla, F. y Fernández, O. 2007. Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Andina*. 13: 27-38.
- Meléndez, L., Hernández, A. y Fernández S. 2006. Efecto de la fertilización foliar y edáfica sobre el crecimiento de las plantas de maíz sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro*. 18(2): 107-114.
- Meunchang, S., Thongra-ar, P., Sanoh, S., Kaewsuralikhit, S. y Ando, S. 2006. Development of rhizobacteria as a biofertilizer for rice production. International workshop on sustained management of the soil-rhizosphere system for efficient crop production and fertilizer use 16th-20th October, 2006. *Land Development Department, Bangkok Thailand*. pp. 1-7.
- Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Douds, D. y Seidel, R. 2005. Environmental, Energetic and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems. *BioScience*. 55 (7): 573-582.
- Ramírez, R., Bandre, M. L. y N. Rosales. 1978. Nutrición del maíz en Venezuela I. Respuesta del maíz al nitrógeno, fósforo y potasio y su composición foliar en la zona maicera del estado Aragua. *Agronomía Tropical*. 28 (1): 19-29.
- Reyes, I., Bernier, L. y Antoun, H. 2002. Rock phosphate solubilization and colonization of maize rhizosphere by wild and genetically modified strains of *Penicillium rugulosum*. *Microbiology Ecology*. 44: 39-48.
- Reyes, I., Valery, A. y Valduz, Z. 2006. Phosphate-solubilizing microorganisms isolated from rhizospheric and bulk soil of colonizer plants at abandoned rock phosphate mine. *Plant and Soil*. 287: 69-75.
- Reyes, I. y Valery, A. 2007. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) con *Azotobacter* spp. *Bioagro*. 19 (3) : 117-126.
- Reyes, I., Alvarez, L., El-Ayoubi, H. y Valery, A. 2008. Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. *Bioagro*. 20 (1) : 37-48.
- Rosas, S. B.; Andrés, J. A.; Rovera, M. y Correa, N. S. 2006. Phosphate-solubilizing *Pseudomonas putida* can influence the rhizobia-legume symbiosis. *Soil Biology Biochemistry*. 38 : 3502-3505.
- Rudresh, D. L., Shivaprakash, M.K. y Prasad, R. D. 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.). *Applied Soil Ecology*. 28 : 139-146.
- Sandeep, A. R., Stephen, J. y Jisha, M.S. 2008. Yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max* (L) Merr) as influenced by phosphate solubilizing microorganisms. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4 (S): 835-838.
- Santilla, N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp. *Ecología Aplicada*. 5(1,2) : 87-91.
- Temminghoff, E. y Houba, V. 2004. Plant analysis procedures. 2da Edición. *Kluwer Academic Publishers*. 180 p.
- Valverde, A., Burgos, A., Fiscella, T., Rivas, R., Velázquez, E., Rodríguez-Barrueco, C., Cervantes, E., Chamber, M. elgal, J. M. 2006. Differential effects of coinoculations with *Pseudomonas jessenii* PS06 (a phosphate-solubilizing bacterium) and *Mesorhizo biumciceri* C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field conditions. *Plant and Soil*. 287:25-34.
- Veseey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacterias as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255: 571-586.