

Efectividad de cepas rizobianas de frijol bajo diferentes regímenes de fósforo

Effectiveness of cowpea rhizobial strains under different phosphorus regimes

Juliana Mayz Figueroa*

Resumen

En Venezuela, el frijol representa una alternativa a la proteína animal, debido a su alto consumo y valor nutritivo, por ello se ha estimulado la implementación de programas para reactivar la economía de los pequeños y medianos productores, a fin de incrementar su producción y así tener mayor disponibilidad de proteína de alta calidad a bajo costo; de manera que, los estudios encaminados a mejorar su cultivo, son acertados. Se evaluó la efectividad de cepas rizobianas de crecimiento lento (cl) y rápido (cr) en frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivar TC9-6 en varios regímenes de fósforo (0, 20, 40 y 80 kgP₂O₅ ha⁻¹), con un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial. Las plantas se cultivaron en 4 kg de suelo de sabana 45 días y las cepas en caldo de levadura y manitol: 5 (cr: JV91) y 10 (cl: JV94) días. La inoculación (2 ml cada vez) fue aplicada a la siembra y 6 días más tarde. La utilización de fósforo (40-80 kgP₂O₅ ha⁻¹) incrementó la nodulación (número, peso seco total e individual de nódulos) y favoreció la aparición de nódulos rojos; así mismo, acrecentó el peso de la materia seca, la altura, el número de hojas y la concentración de nitrógeno del vástago. Los valores fueron similares con ambos tipos de cepas (efectividad similar) y para las dos concentraciones (40-80 kgP₂O₅ ha⁻¹), con las menores estimaciones para 0 y 20 kgP₂O₅ ha⁻¹. De acuerdo con los resultados las concentraciones de 40 y 80 kgP₂O₅ ha⁻¹ fueron las más favorables para el crecimiento y la nodulación de frijol.

Palabras clave: *Vigna unguiculata*, *Rhizobium*, crecimiento, nodulación, fósforo.

Abstract

In Venezuela, cowpea is an alternative to animal protein due to its high consumption and nutritious value, so it has stimulated the implementation of programs to reactivate the small and medium producers economy, in order to increase its production and to have major high quality protein availability at low cost; so that, the studies carry on to improve its cultivation, are well-aimed. The effectiveness of slow (sg) and fast (fg) growing rhizobial strains was evaluated in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cultivar TC9-6 at various phosphorus regimes (0, 20, 40 and 80 kgP₂O₅ ha⁻¹): randomized block design with factorial arrangement. Plants were cultivated in 4 kg savannah soil: 45 days, and the strains in yeast and mannitol broth: 5 (fg: JV91) and 10 (sg: JV94) days. The inoculation (2 ml each time) was applied at sowing time and 6 days later. Phosphorus utilization (40-80 kgP₂O₅ ha⁻¹) increased nodulation (nodule number, total and individual dry weight) and favoured nodule red colour appearance; also, incremented shoot dry matter weight, height, leaves number and nitrogen concentration. Values were similar with both strain types (similar effectiveness) and to the two doses (40-80 kgP₂O₅ ha⁻¹), with lower estimations to 0 and 20 kgP₂O₅ ha⁻¹. Accordingly with the results, the doses of 40 and 80 kgP₂O₅ ha⁻¹ were the most favourable to cowpea growth and nodulation.

Key words: *Vigna unguiculata*, *Rhizobium*, growth, nodulation, phosphorus.

Recibido: marzo 24 de 2010

Aprobado: agosto 23 de 2011

* Bióloga, MSc., Ph.D. Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Campus "Juanico", Laboratorio de Rizobiología, Maturín, estado Monagas, Venezuela. julianamayz@cantv.net; julianamayz@gmail.com

Introducción

De acuerdo con Sauer (1952) y Summerfield *et al.* (1974), el frijol tuvo su centro de origen en Etiopía, desde donde se extendió hacia Asia y el Mediterráneo a través de Egipto y Arabia. En la actualidad es cultivado ampliamente en países tropicales y subtropicales, donde se le dan diversos usos (consumo humano de las vainas, las hojas y de los granos verdes o secos, consumo animal en pastizales, y como heno y ensilaje) y se hacen estudios para conocer su potencialidad para otros.

En Venezuela, el frijol es cultivado principalmente en pequeñas parcelas en las sabanas orientales para consumo de sus granos frescos o secos; la mayoría de los suelos presentan deficiencias de Ca, N y P, pH ácido y toxicidad de aluminio y/o manganeso (Mayz *et al.*, 2003). Para los años 1999-2000, este ocupó el segundo lugar de producción y consumo humano después de la caraota (MAC, 2000; García *et al.*, 2009), condición que hoy permanece. Debido a su alto valor nutritivo (alrededor de 25% de proteína cruda), el frijol representa una alternativa a la proteína animal, razón que ha estimulado la implementación de programas sociales para reactivar la economía de los pequeños y medianos productores, con el fin de incrementar su producción y tener una mayor disponibilidad de proteína de alta calidad a un menor costo que la proteína animal (PESA, 2002, Defang *et al.*, 2008). Además, el frijol es una planta con una alta heredabilidad que ha permitido, a través de estrategias de cruzamiento tradicional, mejorar su rendimiento y calidad (Muchero *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2009).

En Venezuela, la fuente de proteína en la formulación de raciones para becerros y aves proviene, en buena parte, de la soya, pero esta es un producto básicamente importado y para el cual se predice una gran escasez debido a la expansión de la economía china y a la emergencia de los países asiáticos. El uso de fuentes alternativas de proteína con cultivos que pueden ser producidos en la finca ganadera, coloca al frijol como una leguminosa de gran potencial tanto alimenticio como económico. Esta es una leguminosa ampliamente conocida entre productores, precoz, con una producción alrededor de 1.200 kg de MS/ha, cosechada como planta completa (Canelones and Castejón, 2006; Defang *et al.*, 2008).

En este contexto, los estudios conducentes a establecer las mejores condiciones para el cultivo de frijol, a fin de incrementar su producción y superficie de siembra, son pertinentes. Así, este estudio contribuye al establecimiento de la mejor combinación de dosis de fósforo y de cepa rizobiana, para maximizar el cre-

cimiento de frijol y la fijación de nitrógeno, con la finalidad de obtener un mejor rendimiento. Se evaluó el efecto de varias dosis de fósforo en combinación con cepas rizobianas de crecimiento lento y rápido sobre el crecimiento y nodulación de frijol.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en invernadero con luz natural y temperatura diurna de 28 a 33 °C, en un suelo Ultisol virgen no estéril de la Estación Experimental de Sabana de la Universidad de Oriente en Jusepín, con clase textural areno francosa, bajo contenido de materia orgánica, nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio y potasio y baja capacidad de intercambio catiónico (tabla 1). Se usaron cuatro tratamientos de fósforo (0, 20, 40 y 80 kgP₂O₅ ha⁻¹) en combinación con cepas rizobianas de crecimiento lento (JV94) y rápido (JV91) bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial. La selección de estas cepas obedece a su conducta simbiótica efectiva (Mayz *et al.*, 2003) en el cultivar de frijol TC9-6, utilizado en este ensayo. Como fuente de fósforo se usó superfosfato triple (46% de P₂O₅), del cual se utilizaron 57,96; 115,93 y 231,88 mg por cada 4 kg de suelo de sabana, correspondientes respectivamente a las dosis de 20, 40 y 80 kgP₂O₅ ha⁻¹; para estos cálculos se consideró el peso de una hectárea (3 x 10⁶ kg) a una profundidad de 20 cm y de densidad 1,5g/cm³.

Las plantas de frijol (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) cv. TC9-6 (Valladares, 1990) se cultivaron en materas plásticas (4 kg) durante 45 días y las cepas en caldo de extracto de levadura y manitol en un agitador orbital (60 rpm) por 5 (JV91) y 10 (JV94) días respectivamente. El número de células viables se calculó por relación de la absorbancia medida a 540 nm de los cultivos de las cepas con la curva de crecimiento o poblacional establecida en el Laboratorio de RIZOBIOLOGÍA (UDO, Monagas, Venezuela), de acuerdo al procedimiento descrito por Somasegaran and Hoben (1994). Las semillas, seleccionadas por uniformidad de tamaño, fueron superficialmente desinfectadas con solución de cloruro de mercurio (0,2%), luego lavadas varias veces con agua destilada estéril y finalmente germinadas en cajas de Petri con papel toalla húmedo a temperatura ambiente (28-30 °C). Se sembraron cuatro semillas pregerminadas con radículas de 1,5-2 cm de largo, raleándose a dos por materia cuando las plantas tuvieron 4,5 cm de altura. La inoculación (2ml planta⁻¹) se realizó con la suspensión bacteriana (1,09-1,18 x 10⁹ células activas ml⁻¹) de las cepas individuales al momento de la siembra y seis días más tarde.

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo Ultisol de sabana usado en el ensayo

Ar %	Cl. Tex	pH	MO %	N %	P mg/kg	Al	H	Ca	Mg	K	CICE	Al %	Fe	Cu	Mn	Zn
												ppm				
4,7	AF	5,1	0,49	0,06	6,6	0,05	0,19	1,22	0,36	0,02	1,65	3,98	11,4	0,48	2,99	0,77

Ar: Arena, Cl. Tex.: Clase Textural, MO: Materia Orgánica.

Categorización (Palmaven, 1986)

pH≤5,5 Muy ácido

MO<2% Bajo

P 0-11 ppm Bajo

Ca<5 meq Bajo

Mg<1 meq Bajo

K<1 meq Bajo

CICE<10 Bajo

Al>25% Alto

En la cosecha, en las dos plantas por materia, se evaluaron: el peso seco, la altura, el número de hojas y la concentración de nitrógeno del vástago y la nodulación (número y peso seco total, peso individual y color de los nódulos: rojos o rosados, considerados como efectivos, y blancos, calificados como inefectivos). Los pesos secos se obtuvieron después del secado en estufa a 65 °C por 72 h y el nitrógeno se determinó por el método de Kjeldahl, después de la digestión ácida de la materia seca, para lo cual se usó un equipo Tecator, Kjeltex system. Los datos fueron analizados de acuerdo al diseño

empleado y las medias comparadas por la diferencia mínima significativa ($p \leq 0,05$) usando el programa estadístico Statistix 8.0 (Analytical Software, 2003).

Resultados y discusión

El crecimiento de frijol fue afectado por las concentraciones de fósforo, pero no por las cepas aplicadas (figura 1). Los menores pesos secos del vástago se presentaron en las plantas cultivadas en ausencia de fósforo o con 20 kgP₂O₅ ha⁻¹ (peso promedio: 1,13 g

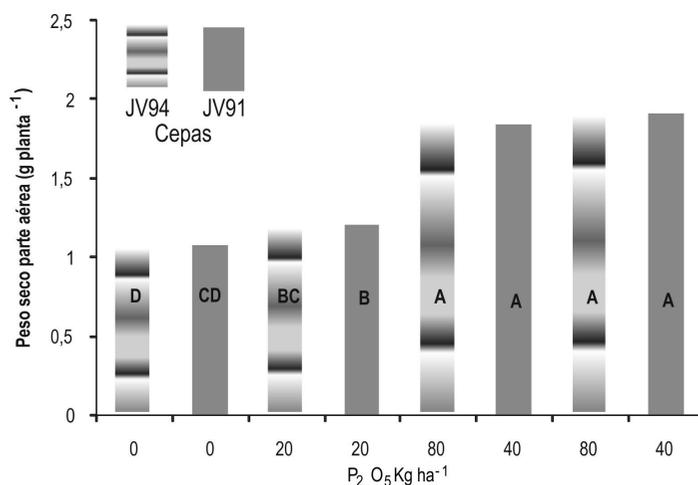


Figura 1. Efectos de las dosis de fósforo (0-80 kgP₂O₅ ha⁻¹) aplicadas a un suelo de sabana sobre el peso seco de la parte aérea de frijol. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, $p \leq 0,05$).

planta⁻¹), incrementándose estos con las concentraciones de 40 y 80 kgP₂O₅ ha⁻¹ (peso promedio: 1,87 g planta⁻¹); los valores obtenidos en estos dos niveles son similares entre sí. La reducción en ausencia de fósforo o con la concentración de 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ fue de un 40%. Similarmente, el número de hojas y la altura de la parte aérea fueron mayores y estadísticamente diferentes a los valores obtenidos en ausencia de fósforo o con 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ (figuras 2 y 3). Se podría asumir que la reducción del crecimiento se debe en parte al menor número de hojas y altura de la planta. Los pa-

rámetros de crecimiento medidos, peso seco, altura y número de hojas del vástago se correlacionaron significativamente con las concentraciones de fósforo, respectivamente 0,86; 0,86 y 0,88.

Después del nitrógeno, el fósforo es el elemento más importante asociado con la fijación de nitrógeno, resulta fundamental en diferentes etapas del desarrollo y crecimiento de las plantas, estimula el crecimiento a través de su participación en estructuras esenciales y en procesos metabólicos, por ejemplo forma parte del

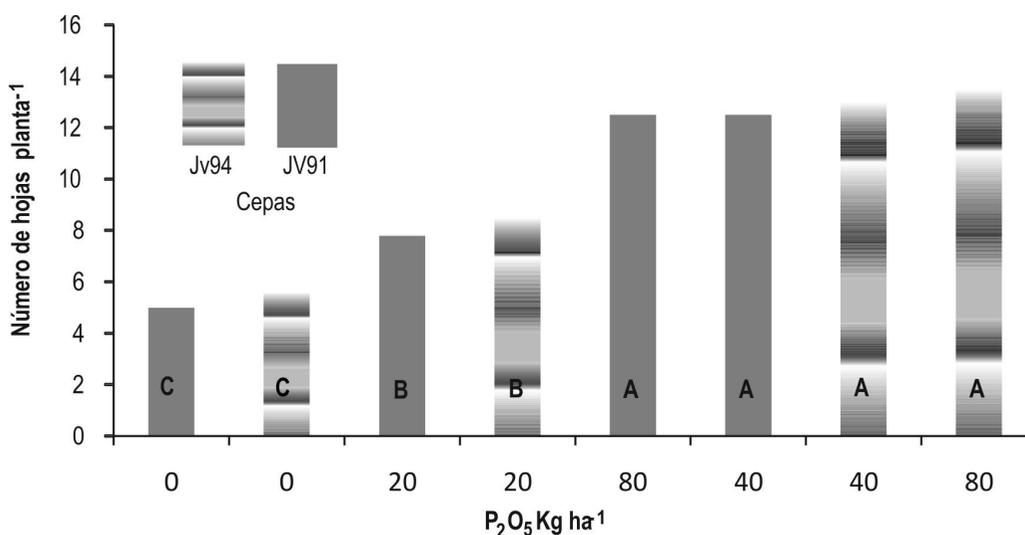


Figura 2. Variaciones en el número de hojas de plantas de frijol, inducidas por la aplicación de diferentes dosis de P₂O₅ (0-80 kg ha⁻¹) aplicadas a un suelo de sabana. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, p≤0,05).

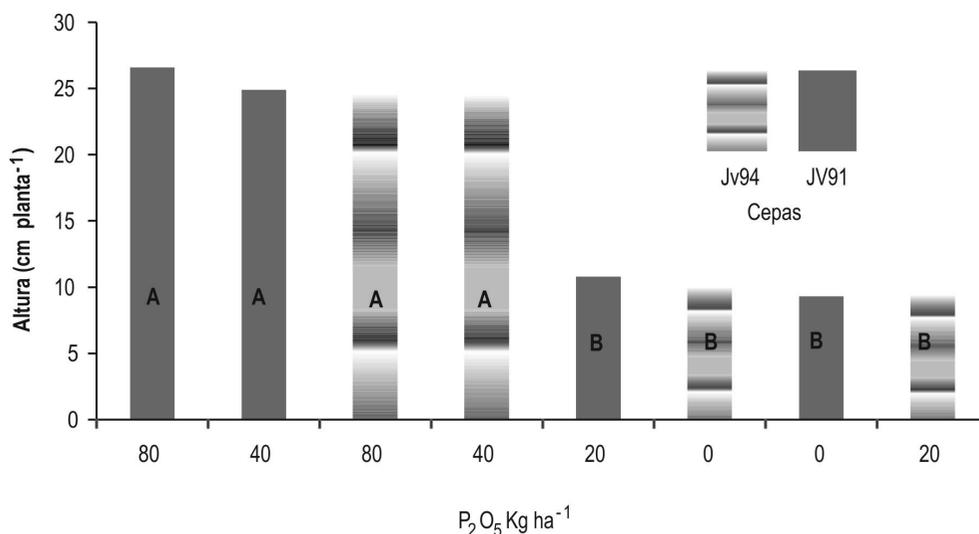


Figura 3. Influencia de varios niveles de fósforo (0-80 kgP₂O₅ ha⁻¹) administrados a un suelo de sabana en la altura de plantas de frijol. Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, p≤0,05)

ADN, ATP y ADP, compuestos responsables del almacenamiento de energía, que permiten el transporte de nutrientes a través de la pared celular y la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas (Thapliyal *et al.*, 2009). De manera específica se ha encontrado que la arquitectura radicular puede sufrir varios cambios primarios en caraota a consecuencia de la deficiencia de fósforo, tales como un incremento del crecimiento de las raíces laterales y de la ramificación de las raíces secundarias a expensas de la elongación de la raíz principal (Lynch and Brown, 2001).

Fujita *et al.* (2003) han señalado algunas consecuencias de la deficiencia de fósforo, entre estas están: reducción del pool de fósforo residual y de la tasa fotosintética, restricción de la división, elongación y expansión celular en los ápices meristemáticos y alteración de las relaciones hídricas y de la conductancia estomática. De tal manera que una deficiencia del elemento se manifiesta finalmente en una reducción del crecimiento, como se observa en este ensayo con los niveles de 0 y 20 kg ha⁻¹. Además se ha encontrado en *Vigna aconitifolia* cv. Mash-88, *Vigna radiata* cv. Moong-6601 y *Glycine max* cv. Tamahomare, retardo del inicio de la formación de las vainas (Chaudhary *et al.*, 2008), en *Vicia faba* cv. Minor, *Medicago polymorph* y *Arachis hypogaea*, reducción del número y peso de las vainas por planta, y de la producción y peso de las semillas (Muir *et al.*, 2001; Munir and Abdel-Rahman, 2002; Hossain *et al.*, 2007). La adición de fósforo a suelos deficientes estimula el crecimiento radicular y fortalece el vástago, lo cual avala lo observado con las concen-

traciones de 40 y 80 kgP₂O₅ ha⁻¹: mayores valores de la materia seca, altura y número de hojas del vástago.

Los síntomas de deficiencia de fósforo se observaron en las plantas a las cuales no se les aplicó P₂O₅ y en esas tratadas con 20 kgP₂O₅ ha⁻¹, estos incluyen: plantas pequeñas con tallos y pecíolos delgados, transición de color en las hojas desde verde oscuro hacia verde oliva y luego amarillamiento, puntos violeta a lo largo o entre las venas, desarrollándose en áreas necróticas.

Al igual que el crecimiento, la nodulación (número, peso seco total e individual y color de los nódulos) fue influenciada por las dosis de P₂O₅ pero no por las cepas aplicadas. El menor número de nódulos se presentó en las plantas no fertilizadas con P o en esas a las cuales se les aplicaron 20 kg ha⁻¹, obteniéndose valores similares entre sí; mientras que el número fue máximo con 40 y 80 kg ha⁻¹ (sin diferencias significativas entre ambas dosis) (tabla 2). La biomasa nodular total e individual fue mayor en las plantas fertilizadas con 40 y 80 Kg ha⁻¹, presentándose una severa disminución en los otros tratamientos (0 y 20 KgP₂O₅ ha⁻¹) (tablas 3 y 4). Las dosis de fósforo y los parámetros de nodulación (número, peso total e individual de nódulos) presentaron correlaciones de 0,86; 0,86 y 0,85, respectivamente. El color de los nódulos presentes en los niveles de 40 y 80 kg ha⁻¹ varió de rosado a rojo; en contraste, en las plantas no fertilizadas o abonadas con 20 kg ha⁻¹ fueron de color blanco, lo cual aunado al menor número y peso total e individual de los nódulos en esos tratamientos podría indicar un efecto

Tabla 2. Influencia de la aplicación de P₂O₅ (0-80 kg ha⁻¹) sobre el número total de nódulos de frijol cultivado en un suelo de sabana. Se muestran los efectos de las dosis de P₂O₅¹, de las cepas² y de la interacción P₂O₅ por cepa³

Número de nódulos planta ¹									
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) ¹			Cepa ²			P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹) × Cepa ³			
40	106,3 ± 6,3	A	JV 94	73,8 ± 35,5	A	40	JV 94	107,2 ± 6,9	A
80	105,2 ± 12,4	A	JV 91	72,6 ± 34,4	A	80	JV 94	106,6 ± 12,4	A
20	47,3 ± 7,3	B				40	JV 91	105,3 ± 6,5	A
0	34,0 ± 7,1	C				80	JV 91	103,8 ± 14,1	A
						20	JV 91	47,3 ± 7,8	B
						20	JV 94	47,3 ± 8,0	B
						0	JV 91	34,1 ± 7,8	B
						0	JV 94	33,8 ± 7,5	B

Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, p≤0,05)

Tabla 3. Efectos de dosis de P_2O_5 (0-80 $kg\ ha^{-1}$) en el peso total de nódulos de frijol cultivado en un suelo de sabana. Se presentan los resultados para las dosis de P_2O_5 ¹, para las cepas² y para la interacción P_2O_5 por cepa³

Peso seco total de nódulos ($mg\ planta^{-1}$)									
P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) ¹			Cepa ²			P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) × Cepa ³			
40	244,05 ± 16,51	A	JV 94	145,69 ± 102,7	A	40	JV 94	247,09 ± 21,03	A
80	236,23 ± 27,66	A	JV 91	142,28 ± 101,3	A	80	JV 94	241,02 ± 13,02	A
20	69,80 ± 12,26	B				40	JV 91	238,31 ± 25,59	A
0	25,86 ± 6,33	C				80	JV 91	234,14 ± 33,45	A
						20	JV 94	69,82 ± 12,27	B
						20	JV 91	69,77 ± 14,14	B
						0	JV 94	27,52 ± 8,86	C
						0	JV 91	24,19 ± 2,80	C

Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, $p \leq 0,05$).

Tabla 4. Peso individual de nódulos de frijol cultivado en un suelo de sabana fertilizado con P_2O_5 (0-80 $kg\ ha^{-1}$). Se registran los efectos de las dosis de P_2O_5 ¹, de las cepas² y de la interacción P_2O_5 por cepa³

Peso seco individual de nódulos ($mg\ nódulo^{-1}$)									
P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) ¹			Cepa ²			P_2O_5 ($kg\ ha^{-1}$) × Cepa ³			
40	2,31 ± 0,07	A	JV 91	1,71 ± 0,64	A	40	JV 91	2,33 ± 0,07	A
80	2,25 ± 0,03	A	JV 94	1,69 ± 0,67	A	40	JV 94	2,29 ± 0,08	A
20	1,47 ± 0,09	B				80	JV94	2,26 ± 0,03	A
0	0,76 ± 0,09	C				80	JV 91	2,24 ± 0,03	A
						20	JV91	1,48 ± 0,10	B
						20	JV94	1,47 ± 0,10	B
						0	JV 91	0,80 ± 0,08	C
						0	JV94	0,73 ± 0,10	C

Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, $p \leq 0,05$).

adverso de la deficiencia de fósforo en la iniciación, el crecimiento y el desarrollo nodular. Estos efectos se han notado en otras especies de leguminosas. Almeida *et al.* (2000) observaron en *Trifolium repens* L. cv. Milkanova que una severa deficiencia de fósforo inhibe en mayor extensión la nodulación y la fijación de nitrógeno que el crecimiento de la planta; Qiao *et al.* (2007) sugieren que la deficiencia de fósforo deteriora la fijación simbiótica del N_2 a través del retraso en el desarrollo del nódulo y del inicio de la función nodular e Islam y Ali (2009) encontraron en *Cicer arietinum* un aumento del nitrógeno fijado con la aplicación de 80 $kgP\ ha^{-1}$.

La concentración de nitrógeno varió con las concentraciones de fósforo, pero no con las cepas aplicadas, incrementándose hasta 80 $kgP_2O_5\ ha^{-1}$, sin diferencias

significativas entre los valores obtenidos con 40 y 80 $kgP_2O_5\ ha^{-1}$. Las menores concentraciones se presentaron con la dosis de 20 $kgP_2O_5\ ha^{-1}$ y en las plantas no fertilizadas; en ambos tratamientos fueron significativamente diferentes (figura 4). Estos menores valores son secuela de la deficiencia de nitrógeno por la falta del suministro nitrogenado a través de la fijación simbiótica como lo denotan las estimaciones de la nodulación para ambos tratamientos.

Conclusiones

Los resultados muestran que un enriquecimiento del suelo de sabana con 40 ó 80 $kgP_2O_5\ ha^{-1}$ mejora la conducta simbiótica de las cepas JV91 y JV94, que se

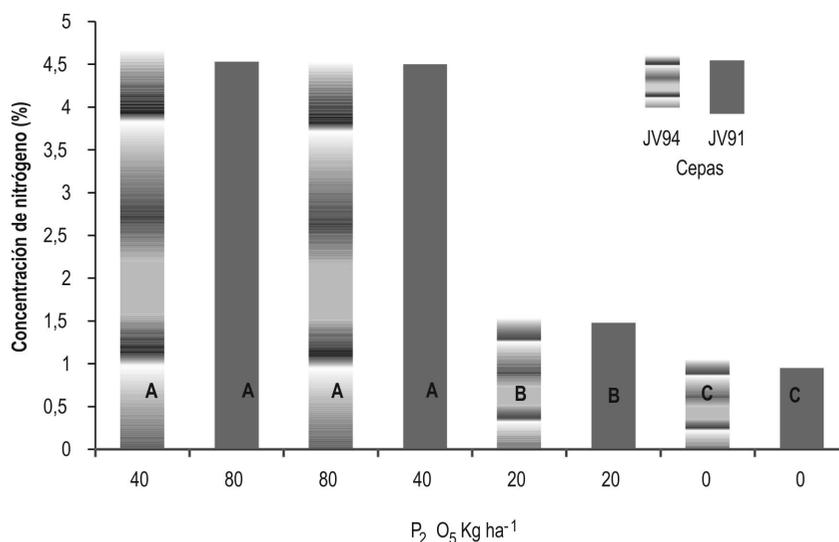


Figura 4. Cambios en la concentración de nitrógeno de la parte aérea de frijol cultivado en un suelo de sabana, fertilizado con varias concentraciones de P₂O₅ (0-80 kg ha⁻¹). Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes (Prueba de la mínima diferencia significativa, p≤0,05).

traduce en un mayor número y peso total de los nódulos, mayor peso por nódulo y presencia de nódulos rojos o rosados, indicativos de actividad fijadora de nitrógeno. Este efecto favorecedor sobre la fijación de nitrógeno se tradujo en un mejor crecimiento de las plantas cultivadas con estas concentraciones, mostrado por un mayor peso seco de la parte aérea, número de hojas y altura de las plantas; de tal manera que se revela un efecto benéfico del fósforo tanto en el crecimiento como en la nodulación de frijol.

Referencias bibliográficas

- Almeida, J., Hartwig, U., Frehner, M., Nösberger, J. and Lüscher A. 2000. Evidence that P deficiency induces N feedback regulation of symbiotic N₂ fixation in white clover (*Trifolium repens* L.) *Journal of Experimental Botany* 51 (348): 1289-1297.
- Analytical Software. 2003. Statistix 8.0 for Windows. Tallahassee, United States.
- Canelones, C. and Castejón, M. 2006. Flours of whole cowpea (*Vigna unguiculata*) and cob maize (*Zea mays*) as supplements for suckling calves. *Zootecnia Tropical*. 24 (3): 361-378.
- Chaudhary, M. I., Adu-Gyamfi, J. J., Saneoka, H., Nguyen, N. T., Suwa, R., Kanai, S., El-Shemy, H. A., Lightfoot, D. A. and Fujita, K. 2008. The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. *Acta Physiologiae Plantarum* 30 (4): 537-544.
- Defang, H., Teguaia, A., Awah-Ndukum, J., Kenfack, A., Ngoula, F. and Metuge, F. 2008. Performance and carcass characteristics of broilers fed boiled cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) and or black common bean (*Phaseolus vulgaris*) meal diets. *African Journal of Biotechnology* 7 (9): 1351-1356.
- Fujita, K., Okada, M., Lei, K., Ito, J., Ohkura, K., Adu-Gyamfi, J. J. and Mohapatra, P. K. 2003. Effect of P-deficiency on photoassimilate partitioning and rhythmic changes in fruit and stem diameter of tomato (*Lycopersicon esculentum*) during fruit growth. *Journal of Experimental Botany* 54 (392): 2519-2528.
- García, O., Infante, R. y Rivera, C. 2009. Las leguminosas, una fuente importante de fibra alimentaria: Una visión en Venezuela. *Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel Aldao*. 40 (1): 57-63.
- Hossain, M. A., Hamid, A. and Nasreen, S. 2007. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizer on N/P uptake and yield performance of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agricultural Research (Lahore)* 45 (2): 119-127.
- Islam, M. y Ali, M. S. 2009. Efecto de la aplicación de azufre-fósforo sobre la fijación de nitrógeno y la captación de nutrientes en garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Agrociencia* 43: 815-826.
- Lynch, J. P. and Brown, K. M. 2001. Topsoil foraging: an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant and Soil* 237: 225-237.
- Mayz, J., Campos, F. and Valladares, N. 2003. Evaluation of rhizobial (*Rhizobium* sp.) isolates for their effects on cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] growth and yield. *Tropical Agriculture* 80: 36-40.
- Ministerio de Agricultura y Cría (MAC). 2000. Rendimiento de productos vegetales. Dirección de Estadísticas e Información. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas, Venezuela.
- Muchero, W., Diop, N. N., Bhat, P. R., Fenton, R. D., Wanamaker, S., Pottorff, M., Hearne, S., Cisse, N., Fatokun, C., Ehlers, J. D., Roberts, P. A. and Close T. J. 2009. Consensus genetic map of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] and synteny based on EST-derived SNPs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106 (43): 18159-18164.

- Muir, J. P., Pitman, W. D., Coombs, D. F. 2001. Seeding rate, phosphorus fertilization, and location effects on 'Armadillo' Burr Medic. *Agronomy Journal* 93: 1269-1275.
- Munir, T. and Abdel-Rahman, T. 2002. Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. *minor*) in the absence of moisture stress. *Biotechnologie, Agronomie Société et Environnement* 6 (3): 171-178.
- Palmaven S. A. 1986. Análisis de suelo y su interpretación. *Serie B. Información Técnica* 40 p.
- Programa Estratégico de Seguridad Alimentaria (PESA). 2002. Informe de comienzo proyecto UTF/Ven/008/Ven julio-octubre 2002. Caracas, Venezuela. 25 p.
- Qiao, Y., Tang, C., Han, X. and Miao, S. 2007. Phosphorus deficiency delays the onset of nodule function in soybean. *Journal of Plant Nutrition* 30 (9): 1341-1353.
- Sauer, C. O. 1952. *Agricultural origins and dispersals*. Bowman Memorial Lectures, Series 2. New York: American Geographical Society. 110 p.
- Somasegaran, P. and Hoben, H. J. 1994. *Handbook for rhizobia. Methods in legume Rhizobium technology*. Berlín, Germany: Springer-Verlag. 456 p.
- Summerfield, R.J., Huxley, P.A. and Steele, W. M. 1974. cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Field Crop Abstracts*. 27: 301-312.
- Thapliyal, R., Chaukiyal, S. P. and Pokhriyal, T. C. 2009. Effect of nitrogen and phosphorus doses on the nitrogen fixation activity of *Albizia lebbek* plants in the nursery. *NFT News* 11 (1): 1-4.
- Valladares, N. 1990. *Nuevas líneas experimentales de frijol (Vigna unguiculata (L.) Walp) para la ecología de sabana, desarrolladas por selección individual de la población original "Tejero Criollo"*. Premio Agropecuario Banco Consolidado. Caracas, Venezuela. 115 p.
- Xu, N. W., Xu, S. and Ehlers, J. 2009. Estimating the broad-sense heritability of early growth of cowpea. *International Journal of Plant Genomics* 2009: 1-4.