

Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre una variedad local de *Phaseolus vulgaris*, en Valladolid, edo. Aragua^a

Effect of bacterial biofertilizers on a local variety of Phaseolus vulgaris, in Valladolid, edo. Aragua

Alan Miyadi Hurtado¹ y Marisol López^{2†}

¹ Instituto de Estudios Avanzados. Dirección de Agricultura y Soberanía Alimentaria, Venezuela. Email: amiyadi@idea.gob.ve; ² Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Venezuela.

RESUMEN

Los biofertilizantes son la base para una agricultura sustentable, principalmente por ser bioproductos económicamente viables y socialmente aceptables, así mismo son eficientes en el uso de la energía, por lo tanto, es importante su evaluación en un cultivo de interés nacional como la caraota. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de biofertilizantes bacterianos en el cultivo de caraota (*Phaseolus vulgaris*) en la comunidad Valladolid, Edo. Aragua. Se evaluó tanto en condiciones de campo como de laboratorio, una cepa de *Rhizobium* (Rh-CENIAP) y una Solubilizadora de fósforo (SF-San Sebastián), así como también la combinación de éstas (Rh + SF). Las cepas utilizadas pertenecen a la colección de cepas del INIA-CENIAP, en los dos experimentos se utilizó la misma variedad local de caraota llamada "Munición vaina morá". Las evaluaciones en campo y laboratorio demostraron que la combinación de las cepas (Rh + SF), fue el tratamiento más efectivo para promover el crecimiento vegetal de las plantas, posiblemente debido a un efecto sinérgico entre los microorganismos (*Rhizobium* y solubilizador de fósforo).

Palabras claves: *Phaseolus vulgaris*; Biofertilizantes; *Rhizobium*; Solubilizadoras de fósforo; Aragua.

ABSTRACT

Biofertilizers are the basis for sustainable agriculture, mainly because they are bioproducts economically viable and socially acceptable. Moreover, they are also efficient in the use of energy, therefore, it is important its evaluation on crops of national interest such as common beans. The aim of this research was to determine the effect of bacterial biofertilizer in growing common beans (*Phaseolus vulgaris*) in the community Valladolid, Aragua. Two strains of the INIA-CENIAP collection, one of *Rhizobium* (Rh-CENIAP) and other phosphorus solubilizing (SF-San Sebastián), and the combination of both (Rh + SF) were evaluated in laboratory and field, with a local variety of bean. The evaluations showed that the combination of strains (Rh + SF) was the most effective treatment for promoting plant growth of plants, possibly due to a synergistic effect between microorganisms.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., biofertilizers, *Rhizobium*, Solubilizing phosphorus bacteria, Aragua.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de alternativas al modelo agrícola convencional de altos insumos, nace el enfoque de una agricultura sustentable, que pueda proveer de alimentos a las generaciones actuales sin comprometer las necesidades alimenticias de las generaciones futuras. Dentro de este enfoque los biofertilizantes juegan un papel muy importante por ser productos a base de microorganismos que viven normalmente en el suelo, y cuando sus poblaciones son bajas se pueden incrementar por medio de la inoculación artificial o prácticas de manejo conservacionistas, estos microorganismos son capaces de poner a disposición de las plantas mediante su actividad biológica, una parte importante de los nutrientes que necesitan para su desarrollo y suministrar sustancias hormonales o promotoras del crecimiento.

^a Recibido:16-07-12 Aceptado: 18-02-13

Los biofertilizantes microbianos representan un componente vital de los sistemas sustentables, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable, de reducir los insumos externos y mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos mediante la utilización de microorganismos del suelo debidamente seleccionados, capaces de fijar nitrógeno atmosférico, solubilizar fósforo y producir sustancias fisiológicamente activas que al interactuar con la planta, desencadenan una mayor activación del metabolismo vegetal (Burdman *et al.*, 2000). Además, los biofertilizantes son considerados como “Biotecnologías apropiables” ya que son factibles dentro del desarrollo técnico científico del país; al proveer beneficios tangibles a los destinatarios finales, son ambientalmente seguras, socioeconómicamente justas y culturalmente aceptables, es decir, son biotecnologías que promueven un desarrollo sustentable (Izquierdo *et al.*, 1995).

Por otra parte, el cultivo de caraota tiene una gran importancia nutricional y socio-económica en Venezuela, siendo la leguminosa de mayor producción y consumo. Además, desde el punto de vista ecológico este cultivo es capaz de aportar nitrógeno al suelo, a través de un proceso biológico entre bacterias del suelo (*Rhizobium*) y las raíces de las plantas. Este proceso ocurre cuando se establece una relación simbiótica, donde la leguminosa suministra monosacáridos generados durante la fotosíntesis como fuente de energía para la bacteria, y ésta a su vez utiliza estas fuentes de carbono como energía para reducir N_2 atmosférico a iones amonio y de esta manera fijarlo, el cual es fácilmente utilizable por la planta (Martínez *et al.*, 2007). Asimismo, el fósforo es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, y es por ello que los microorganismos solubilizadores de fósforo juegan un papel muy importante al liberar ácidos orgánicos que disuelven los fosfatos insolubles haciéndolos disponibles para las plantas.

En este sentido, el objetivo de este trabajo de investigación fue determinar el efecto de los biofertilizantes bacterianos en el cultivo de Caraota (*Phaseolus vulgaris*), en la comunidad de Valladolid, San Sebastián de los Reyes, estado Aragua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de campo:

Muestreo de suelo: Se tomaron muestras a las profundidades de 0-20 cm y 20-40 cm en un lote de producción mantenido en barbecho. Diez submuestras fueron mezcladas y homogeneizadas para obtener muestras compuestas de cada profundidad y realizar los análisis con fines de diagnóstico de la fertilidad.

Arreglo experimental y tratamientos:

Para garantizar la participación de la comunidad en las actividades se realizaron varios talleres donde se seleccionaron los tratamientos en mutuo acuerdo con los agricultores.

Se utilizó un diseño en bloques completamente aleatorizados. Cada bloque representó una repetición completa de todos los tratamientos. El tratamiento 1 correspondió al testigo al cual no se le aplicó ningún tipo de fertilización, el tratamiento 2 correspondió al biofertilizante a base de *Rhizobium*, y el tratamiento 3 al biofertilizante mixto a base de *Rhizobium* y solubilizadora de fósforo.

Cepas utilizadas: *Rhizobium* aislado del campo experimental del CENIAP, Edo. Aragua y la Solubilizadora de fósforo fue la cepa SF1 aislada de San Sebastián de los Reyes, Edo. Aragua, ambas pertenecen al Cepario Nacional del INIA. La dosis aplicada en el experimento fue de 2 l/ha.

Siembra: Se realizó de manera manual, colocando tres semillas por hueco. La distancia entre hilos fue de 0,2 m, la distancia entre planta fue de 0,1 m, el largo del hilo fue de 5 m, la distancia entre bloques fue de 1 m.

Variables evaluadas:

1. Número de vainas formadas.
2. Número de vainas vanas.
3. Peso de la planta (g).
4. Rendimiento por planta (g).
5. Peso de vainas por planta (g).

6. Ancho de vaina (mm).
7. Longitud de la vaina (cm).
8. Numero de semillas por vaina.
9. Peso de la vaina (g).
10. Peso de semilla por vaina (g).
11. Peso de 100 semillas.
12. Rendimiento (kg/ha):
13. Dimensión del grano (mm).

Fase de laboratorio:

Arreglo experimental y tratamientos: Se sembraron cuatro tratamientos de 15 semillas cada una con tres repeticiones para cada tratamiento. El Tratamiento 1 correspondió al testigo absoluto, el tratamiento 2 al biofertilizante a base de *Rhizobium*, el tratamiento 3 al biofertilizante a base de solubilizadora de fósforo y el tratamiento 4 a la combinación de ambos biofertilizantes (*Rhizobium* y solubilizadora de fósforo).

Cepas utilizadas: Se utilizaron las mismas cepas de la fase de campo. Las dosis aplicadas en el experimento fueron de: 0,3 ml/semilla para los tratamientos 2 y 3, y de 0,15 ml/semilla de cada cepa (Rh y SF) para el tratamiento 4.

Siembra: Las semillas se colocaron en cápsulas de Petri con toallas humedecidas de papel y fueron llevadas a cámara de germinación (20-30 °C) durante 7 días.

Variables evaluadas: Se determinó el porcentaje de germinación, número de plántulas normales y anormales según el Manual de Evaluación de Plántulas (ISTA, 1999). También se tomaron medidas del peso fresco de raíz (g), peso seco de raíz (g), longitud de raíz principal (cm), longitud de la plúmula (cm) y diámetro del tallo (mm).

Análisis estadístico: Los datos obtenidos tanto en la fase de campo como en laboratorio fueron analizados por el método de la varianza (ANOVA), para lo cual se utilizó el programa InFoStat/Profesional versión 2.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los primeros 20 cm el suelo es de textura FAL, los niveles de fósforo ($P > 20 \text{ mg.kg}^{-1}$), potasio ($K > 120 \text{ mg.kg}^{-1}$); calcio ($Ca > 400 \text{ mg.kg}^{-1}$), magnesio ($Mg > 100 \text{ mg.kg}^{-1}$) y materia orgánica ($MO 43,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) son altos de acuerdo a lo señalado por Gilabert *et al.*, (1990) (cuadro 1). La reacción del suelo (pH) es ligeramente ácida, sin limitaciones a los cultivos debido a los altos contenidos de Ca y Mg y la conductividad eléctrica (CE) baja, reflejando ausencia de problemas de salinidad. En general, el suelo presenta una alta fertilidad en los primeros 20 cm. Los siguientes 20 cm (20 – 40) tienen una textura arcillo limosa, de clase fina, con contenido bajo de fósforo, medio de potasio y materia orgánica, y altos en calcio y magnesio. En resumen, el suelo muestra muy buena fertilidad, por lo cual no constituye una limitante para los cultivos, de interés socioproductivo, pudiendo realizarse un manejo integrado de la fertilidad con insumos locales (orgánicos y cepas nativas) sin necesidad de aplicar fertilizantes de origen industrial.

Efecto de los biofertilizantes en el cultivo de Caraota en la comunidad de Valladolid

Como se observa en el cuadro 2, el número de vainas formadas estuvo entre 3,09 y 4,07; obteniéndose diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos evaluados, correspondiendo el mayor número de vainas al tratamiento 3, mientras que el menor valor correspondió al tratamiento 2, el cual fue biofertilizado sólo con *Rhizobium*. Por otro lado, el número de vainas vanas estuvo entre 0,29 y 0,54; observándose diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos, donde el menor valor fue para el tratamiento 3 y el mayor valor para el tratamiento 2, es decir, que las plantas del tratamiento 3 donde se combinaron los 2 tipos de biofertilizantes (Rh y SF), mostró una mejor respuesta al tener un menor número de vainas vanas por planta. Aun cuando el número de vainas por planta es una característica ligada al gen y depende del cultivar que se está utilizando se observaron diferencias

Cuadro 1. Análisis físico-químico del suelo en la comunidad Valladolid, edo. Aragua donde se realizó el experimento

Prof. (cm)	Porcentaje (%)			Text.	Clase	mg.kg ⁻¹				MO g.kg ⁻¹	pH	CE (ds/m)
	a	L	A			P	K	Ca	Mg			
0-20	18.0	44.0	38.0	FAL	Fina	24.0	152.0	917.0	420.0	43,3	5.84	0.08
20-40	14.0	40.0	46.0	AL	Fina	6.0	100.0	828.0	440.0	28,0	6.23	0.06

Cuadro 2. Variables morfológicas del cultivo de la caraota (*Phaseolus vulgaris*) evaluadas luego de la aplicación de biofertilizantes bacterianos

Variables	Causa de Variación			C.V
	Tratamiento			
	T1	T2	T3	
N° de vainas Formadas	3,96a	3,09b	4,07a	43,24
N° de vainas Vanas	0,54a	0,4ab	0,29b	164,75
Peso de la planta (g)	8,51a	6,76b	9,02a	48,11
Rendimiento por planta (g)	4,56a	3,66b	4,82a	48,96
Peso de vainas por planta (g)	5,94a	4,88b	6,28a	48,43
Ancho de vaina (mm)	8,75a	8,6a	8,78a	13,93
Longitud de la vaina (cm)	8,48b	8,35b	8,85a	12,36
N° de semillas por vaina	5,23a	5,24a	5,56a	24,09
Peso de la vaina (g)	0,33a	0,33a	0,38a	49,43
Peso de semilla por vaina (g)	1,27a	1,24a	1,38a	32,99

Medias con letras iguales en la columna, no difieren por la prueba de Duncan al 5%. T1: testigo, T2: Inoculado con Rh, T3: Inoculado con Rh+SF, C.V. Coeficiente de variación.

estadísticas significativas entre los tratamientos, con un mayor efecto de la biofertilización combinada, esto difiere de los resultados obtenidos por Ferreira, *et al.*, (2000) quienes no observaron diferencias estadísticas significativas para el número de vainas por planta, en la variedad IAC Carioca inoculada con cinco diferentes cepas de *Rhizobium tropici*.

Además, el peso de las plantas osciló entre 6,76 g y 9,03 g, donde se obtuvieron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) (Cuadro 2). Estos resultados difieren con los conseguidos por Ferreira *et al.*, (2009) quienes no observaron diferencias significativas para los tratamientos de materia seca de la parte aérea de plantas de *Phaseolus vulgaris*, cultivar BRS-MG Talisma, las cuales fueron inoculadas con cinco diferentes cepas de *Rhizobium* (UFLA 02-68, UFLA 02-86, CIAT 899, UFLA 02-127, UFLA 02-100). Estos resultados confirman la hipótesis de que cepas nativas de *Rhizobium* pudieran estar actuando en el T1, y por lo tanto, compitiendo con las aplicadas en el tratamiento 2 y 3.

Por otra parte, el rendimiento por planta varió entre 3,66 g y 4,82 g, con diferencias estadísticas significativas, correspondiendo los mayores valores a los tratamientos 3 y 1 (Cuadro 2). Datos similares obtuvo Ferreira *et al.*, (2000) al observar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos inoculados con cepas de *Rhizobium tropici*, donde el testigo sin inoculación ni fertilización inorgánica se ubicó en el mismo grupo de los tratamientos evaluados con las cepas (CIAT 899, F.35, F.54 y F.81) y las plantas inoculadas con la cepa CM 255 tuvieron un menor rendimiento de granos por planta que el testigo sin inoculación ni abonos inorgánicos. En otro experimento llevado a cabo por González *et al.*, (2008) encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con cepas de *Rhizobium* venezolanas y brasileñas donde las cepas venezolanas fueron las que menos rendimientos en

granos por planta produjeron, esto posiblemente sugiere que las cepas no se adaptaron a las condiciones ambientales de los suelos brasileños y posiblemente hubo competencia con las nativas de Brasil, lo cual suele ocurrir. Por esta razón se recomienda evaluar cepas locales y biofertilizar con las nativas en cada condición agroecológica.

Por su parte, el peso de las vainas por planta osciló entre 4,88 g y 6,28 g; donde se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) (Cuadro 2). Estos datos se relacionan con el número de vainas y el rendimiento del vástago o biomasa aérea y rendimiento en grano, donde se obtuvo la misma tendencia, es decir, que al tener mayor número de vainas por plantas, se tradujeron en mayor rendimiento por planta, en este sentido, los biofertilizantes o mezclas de cepas parecen tener un efecto sinérgico que favoreció el tamaño de las vainas, así como, el peso y el rendimiento por planta, igualmente la respuesta del cultivo en los componentes del rendimiento parece indicar efectos de cepas nativas. Igualmente, la longitud de las vainas estuvo entre 8,35 cm y 8,85 cm; obteniéndose diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$). En esta variable el mayor valor fue para el tratamiento 3 y los menores valores para los tratamientos 1 y 2. Por otra parte, en el ancho de las vainas, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 2). Estas dos variables fueron tomadas con la finalidad de obtener de manera aproximada el efecto de los biofertilizantes sobre la forma de los frutos, como se pudo observar, solo se obtuvo diferencias significativas para la longitud de las vainas.

Al mismo tiempo, el número de semillas por vainas, no presentó diferencias estadísticas significativas. Esta es una característica importante para la selección de materiales por su alta heredabilidad genética, en este caso los biofertilizantes no afectaron esta característica en la variedad local Municipión vaina morá, como si lo pudo observar Ferreira *et al.*, (2000), quienes encontraron diferencias estadísticas significativas para la variedad IAC Carioca que al ser inoculada con la cepa de *Rhizobium* F.81 presentó menor número de semillas por vaina al compararla con las plantas inoculadas con las cepas (CIAT 899, F.35, F.54, CM 255) incluyendo al testigo sin inoculación ni fertilización inorgánica. Esto nos indica que el tipo de cepa utilizada para la inoculación de las plantas puede afectar el número de semillas por vaina.

En el cuadro 3 se observa claramente, que el peso de cien semillas no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, y los valores oscilaron entre 21,59 g y 22,58 g; resultados similares encontraron Pelegrin *et al.* (2009) al no obtener diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con diferentes niveles de fertilización inorgánica combinados con inoculación de cepas de *Rhizobium* ya que estos valores son característicos de cada variedad. Por otra parte, González *et al.*, (2007) señalan que las semillas pueden ser clasificadas de acuerdo a su tamaño por el peso en cien semillas como: pequeñas (<25 g), medianas (25-40 g) y grandes (> de 40 g), por lo tanto podemos decir que las semillas de la variedad local Municipión Vaina Mora son del tipo pequeña (Cuadro 3). En la misma forma, el rendimiento en granos en kg/ha tampoco mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 3). Aun cuando se obtuvo una diferencia de 308,79 kg a favor del tratamiento 3, estadísticamente no fue significativo, sin embargo, 309 kg/ha pudieran generar mayor ingreso al productor.

Cuadro 3. Parámetros de rendimiento del cultivo de la carota (*Phaseolus vulgaris*) después de la aplicación de biofertilizantes bacterianos

Variable	Causa de Variación			C.V
	Tratamiento			
	T1	T2	T3	
Peso de 100 semillas	21,59a	22,46a	22,58a	4,79
Rendimiento (kg/ha)	1034,89a	1038,45a	1343,68a	31,4

Medias con letras iguales en la columna, no difieren por la prueba de Duncan al 5%. T1:

Testigo, T2: Inoculado con Rh, T3: Inoculado con Rh+SF, C.V. Coeficiente de variación.

Resultados diferentes fueron encontrados por Ferreira *et al.*, (2009) y De Lima *et al.*, (2006) quienes encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, siendo la cepa de *Rhizobium* UFLA 02-68 y las cepas UFLA 02-86, UFLA 02-100, UFLA 02-127 y CIAT mejores que el tratamiento testigo sin inoculación e igual estadísticamente al tratamiento con fertilización inorgánica de nitrógeno. Por otra parte, es importante destacar que las prácticas utilizadas en esta investigación fueron agroecológicas, con biofertilizantes bacterianos y los rendimientos fueron similares al promedio nacional para ese año de 1369 Kg/ha (FEDEAGRO, 2010), esto evidencia el potencial que tienen los biofertilizantes para promover una agricultura sustentable en el país, a partir de opciones más conservacionistas y valorando los insumos locales, tales como las cepas nativas, las cuales pudieran aumentarse con inoculaciones a través de los biofertilizantes.

Por otra parte, en el cuadro 4 se puede observar diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para el largo de las semillas, que varió entre 9,84 mm y 10,24 mm; así como diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) para el ancho de semilla que varió entre 6,24 mm y 6,42 mm; siendo el mayor para el tratamiento 3 y el menor para el tratamiento 1. Además, se observó la misma tendencia para el espesor de la semilla, cuyos valores oscilaron entre 4,44 mm y 4,63 mm; y el mayor fue el tratamiento 3 y el menor del tratamiento 1. Vargas *et al.*, (2003) consideran que la variación morfológica de las semillas es poco afectada por las condiciones ambientales, sin embargo, pudimos observar diferencias estadísticas significativas para la dimensión de las semillas donde el tratamiento 3 mostró semillas más grandes, por lo tanto, la biofertilización combinada de cepas de Rh y SF tuvieron un efecto positivo sobre el tamaño del grano.

Cuadro 4. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre las dimensiones del grano de caraota (*Phaseolus vulgaris*).

Variables	Causa de Variación			C.V
	Tratamiento			
	T1	T2	T3	
Largo de la semilla (mm)	9,84b	10,06a	10,24a	8,26
Ancho de la semilla (mm)	6,24b	6,27b	6,42a	7,29
Espesor de la semilla (mm)	4,44b	4,48b	4,63a	9,87

Medias con letras iguales en la columna, no difieren por la prueba de Duncan al 5%. T1: testigo, T2: Inoculado con Rh, T3: Inoculado con Rh+SF, C.V. Coeficiente de variación.

Efecto de los Biofertilizantes sobre la Bioestimulación en plantas de caraota:

Se observaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) para el número de plantas normales y para el número de plantas anormales. Estos resultados nos muestran que el tratamiento 4 basado en la combinación de Rh+SF tuvo un efecto positivo sobre el vigor de las plántulas (Cuadro 5). Adicionalmente, el peso fresco de las raíces osciló entre 2,5 g y 5,44 g; donde se obtuvo diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) y el mayor valor fue para el tratamiento 4 y el valor más bajo para el tratamiento 1; de igual modo, se observó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) para la longitud de la raíz principal donde los valores oscilaron entre 13,3 cm y 8,45 cm, el mayor valor perteneció al tratamiento 2 y el valor más bajo al tratamiento 1. Para la longitud de la plúmula los valores estuvieron entre 7,73 cm y 3,91 cm; obteniéndose diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$), el mayor valor fue del tratamiento 3 y el menor valor del tratamiento 1. También, se observaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0,05$) para el diámetro del tallo, los valores fluctuaron entre 2,7 mm y 2,21 mm; el mayor valor fue del tratamiento 4 y el menor valor fue del tratamiento 1 (Cuadro 5).

En este orden de ideas, Mora y Toro (2007) encontraron datos similares al bioestimar en condiciones estériles el crecimiento de semillas de *Zea Mays* con *Burkholderia cepacia*. Después de tres semanas, ellos encontraron que las plantas inoculadas mostraron una longitud superior en 28% sobre las no inoculadas, mayor biomasa y fósforo foliar. Asimismo, Reyes *et al.*, (2008) al evaluar el efecto de rizobacterias preseleccionadas sobre la germinación, crecimiento, la asimilación de nitrógeno y de fósforo en tejido vegetal, de plantas de *Capsicum annum* y *Zea mays* en condiciones de umbráculo, encontraron

que algunas cepas bacterianas promovieron la germinación, las que destacaron para semillas de pimentón fueron las cepas 17 y 20 que correspondieron a *Azotobacter* y un bacilo gram negativo. Para el maíz las cepas 1 y 23, otro bacilo gram negativo y un *Azospirillum* respectivamente. De igual modo, Barreto *et al.*, (2007) evaluaron el efecto de biopreparados a base de rizobacterias nativas promotoras del crecimiento vegetal, sobre semillas de *Anacardium excelsum*, los resultados obtenidos mostraron que los biofertilizantes presentaron óptimos resultados en la aceleración del crecimiento.

Cuadro 5. Bioestimulación de la germinación en plantas de caraota (*Phaseolus vulgaris*) a los siete días después de la aplicación de biofertilizantes bacterianos

Variables	Causa de Variación				C.V
	Tratamiento				
	T1	T2	T3	T4	
N° de plantas Normales	7,33b	10,67ab	12,33ab	14a	26,52
N° de plantas Anormales	7,67b	4b	1,67ab	1a	69,46
Peso fresco de raíz (g)	2,5b	3,96ab	5,4a	5,44a	22,81
Peso seco de raíz (g)	0,19a	0,38a	0,55a	0,56a	75,37
Longitud de raíz principal (cm)	8,45b	13,3a	12,27a	12,75a	14,48
Longitud de la plúmula (cm)	3,91b	6,54a	7,73a	7,6a	11,01
Diámetro del tallo (mm)	2,21b	2,39ab	2,65a	2,7a	6,4

Medias con letras iguales en la columna, no difieren por la prueba de Duncan al 5%. T1: testigo, T2: Inoculado con Rh, T3: Inoculado con SF, T4: Inoculado con Rh+SF, C.V. Coeficiente de variación.

Todas estas investigaciones, demuestran el efecto positivo de los biofertilizantes sobre la germinación y crecimiento de diferentes plantas en condiciones controladas, los cuales coinciden con los resultados encontrados en esta investigación, donde el tratamiento 4 el cual fue la combinación de dos cepas diferentes de bacterias, una fijadora de nitrógeno (Rh) y una Solubilizadora de fósforo (SF), tuvieron un efecto positivo sobre todas las variables evaluadas, demostrando que la interacción entre estas dos cepas favoreció el crecimiento de las plantas de caraota, y por lo tanto estas características colocan a estas cepas como potenciales biofertilizantes bacterianos para ser utilizados en el cultivo de la caraota. En este sentido, en cámaras de crecimiento, se pudo comprobar el efecto positivo que tienen los biofertilizantes sobre el crecimiento de las plantas (Figura 1), sin embargo, en condiciones de campo el resultado no fue el mismo, ya que, se observó una tendencia para las variables morfológicas del componente del rendimiento, siendo el tratamiento 3 (Rh+SF) el que mejor comportamiento tuvo en el campo, sin embargo, no se observan diferencias estadísticas significativas con el tratamiento 1 (Testigo) mientras que el tratamiento 2 (Rh) fue el que peor se comportó en campo (Cuadro 2), posiblemente debido a la presencia de rizobacterias promotoras de crecimiento nativas. Martínez (2003), indica que cada vez que rizobios específicos están ausentes, la inoculación fácilmente mejora los rendimientos de la planta, sin embargo cuando bacterias nativas existen en los suelos, éstas frecuentemente desplazan a las cepas inoculadas; lo cual pudiera estar ocurriendo en este caso, ya que es importante indicar que se logró aislar una cepa nativa de *Rhizobium* a partir de nódulos extraídos de plantas de caraota del tratamiento 1 (testigo).

Por otra parte, el rendimiento no arrojó diferencias estadísticas significativas, sólo la tendencia hacia un mayor rendimiento del tratamiento 3 (Cuadro 3). Al respecto Martínez (2003) señala que las pobres respuestas en el rendimiento obtenidas por inoculación en Latino América, parecen referirse a la alta y diversa población de bien adaptadas bacterias noduladoras encontradas en el suelo, que como se mencionó anteriormente compiten con las cepas inoculadas y en algunos casos llegan a desplazarlas. Además, Hafeez *et al.*, (2005) hacen referencia que existe un efecto antagonista entre cepas, por lo tanto, la mezcla no siempre es buena y esto se puede deber a la producción de bacteriocinas, proteínas o proteínas complejas con actividad bactericida directamente en contra de especies cercanas. Por lo tanto, existen mecanismos que utilizan las bacterias para desplazar a otras cepas.

Asimismo, la mayoría de los trabajos mencionados reportan la acción de los biofertilizantes de manera aislada, en cambio, en la gran mayoría de los casos estos organismos no se encuentran de manera aislada en el suelo, Rojas *et al.*, (2001) en sus estudios indican que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal tienen múltiples modos de acción. Pero, sólo podemos inferir de estos estudios que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal coexisten en la rizósfera y que tienen únicos modos de acción pero que actúan de manera sinérgica para estimular el crecimiento de las plantas.

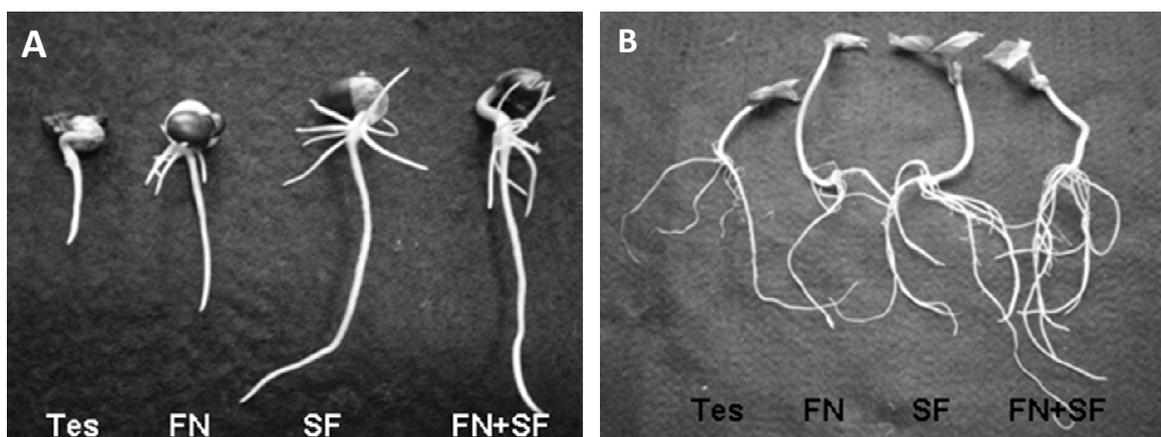


Figura 1. Efecto de los biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de plántulas de caraota (*Phaseolus vulgaris.*), durante el experimento de bioestimulación de la germinación. (A: Día 3 y B: Día 7. Tes: testigo, FN: fijadora de nitrógeno (*Rhizobium*), SF: Solubilizadora de fósforo)

En este mismo orden de ideas, el fósforo es el nutriente inorgánico más requerido por las plantas y los microorganismos, después del nitrógeno. Además, en el suelo es el factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de ser abundante tanto en forma inorgánica como orgánicas (Alexander, 1980). Las plantas deben absorberlo del suelo, donde se encuentra en muy baja concentración, esto se debe a que el fósforo soluble reacciona con iones como el calcio, el hierro o el aluminio que provoca su precipitación o fijación, disminuyendo su disponibilidad para las plantas (Rodríguez y Fraga, 1999). Asimismo, los fertilizantes inorgánicos aplicados también son inmovilizados en el suelo y como consecuencia no son solubles para ser aprovechados por los cultivos (Peix *et al.*, 2001), es por ello, que los microorganismos capaces de solubilizar fuentes de fósforo inorgánico son fundamentales para incrementar este nutriente disponible para las plantas, como se pudo observar en esta investigación, donde el tratamiento 3 en campo fue el que presentó un mayor rendimiento al poseer una cepa de bacteria solubilizadora de fósforo, la cual tiene la capacidad de hacer disponible este nutriente para las plantas.

CONCLUSIONES

- En general, los biofertilizantes tuvieron un efecto positivo en el cultivo de caraotas (*Phaseolus vulgaris*), siendo la combinación de *Rhizobium* y solubilizadora de fósforo la que mostró un mejor desempeño, evidenciando su potencial para ser utilizado en forma combinada como biofertilizante en este cultivo.
- En el experimento de campo, el tratamiento testigo (sin inocular) fue superior al tratamiento inoculado con rhizobium, esto se debe posiblemente a la presencia de cepas nativas más eficientes y mejor adaptadas a las condiciones locales.

LITERATURA CITADA

Alexander M. 1980. Transformaciones microbianas del fósforo. En Introducción a la microbiología del suelo. AGT editor, México, 491 p.

- Barreto D., N. Valero., A. Muñoz y A. Peralta.** 2007. Efecto de Microorganismos Rizosféricos sobre Germinación y Crecimiento Temprano de *Anacardium Excelsum*. Zonas Aridas. Cesar, Colombia. Vol.11: 240-250.
- Burdman S., E. Jarkevicht y Y. Okon.** 2000. Recent advances in the use of PGPR in Agriculture. En: *Microbial Interactions in Agriculture and Forestry*. Science publishers Inc. Plymouth, UK, Vol. 2, pp. 29 -250.
- De Lima A., P. Avelar, J. Resende, H. Martins, A. Silva, M. Bastos y F. De Souza.** 2006. Eficiencia agronómica de rizobios seleccionados e diversidades de populações nativas nodulíferas em perdoes (MG). II-Feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Vol. 30: 803-811.
- FEDEAGRO.** Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuarios. Caracas, Venezuela. Disponible en <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>
- Ferreira A., O. Arf , A. De Carvalho, R. Silva, M. De Sa, y S. Buzetti.** 2000. Estirpes de *Rhizobium Tropicum* NA Inoculação do feijoeiro. *Revista Scientia Agricola*. Vol. 57(3): 507-512.
- Ferreira P., M. Pereira, A. Casseatari, M. Ruffini, F. De souza, y M. Bastos.** 2009. Inoculação com cepas de rizobio na cultura do feijoeiro. *Ciencia Rural*. Vol. 39(7): 2210-2212.
- Gilbert de Brito J., I. López de Rojas y R. Pérez de Roberti.** 1990. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. En: *Manual de métodos y procedimientos de referencia*. FONAIAP - CENIAP. Maracay. Serie D. No 26. 164 p.
- González G., D. Pérez, A. Trujillo y M. Gutiérrez.** 2007. Caracterización morfológica de accesiones locales de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) colectadas en diversas regiones del país. XVII Congreso Venezolano de Botánica. Maracaibo. p 468.
- González T., J. Campanharo y E. Macedo.** 2008. Genetic characterization and nitrogen fixation capacity of *Rhizobium* strains on common bean. *Pesquisa Agropecuaria*. Vol. 43(9): 1177-1184.
- Hafeez F., F. Naeem, R. Naeem, A. Zaidi y K. Malik.** 2005. Symbiotic effectiveness and bacteriocin production by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* isolated from agriculture soils in Faisalabad. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 54:142-147.
- ISTA.** 1999. International rules for seed testing. International Seed Testing Association (ISTA). Zurich, Suiza.
- Izquierdo J., L Ciampi y E. Garcia.** 1995. Biotecnología apropiable: racionalidad de su desarrollo y aplicación en América Latina y el Caribe. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/pdf/aprop.pdf>.
- Martínez, E.** 2003. Diversity of *Rhizobium-Phaseolus vulgaris* symbiosis: overview and perspectives. *Plant and Soil*. Netherlands. Vol. 252(1): 11-23.
- Martínez R., M. López, B. Bidut, C. Parra y J. Rodríguez.** 2007. La fijación biológica del nitrógeno atmosférico en condiciones tropicales. Edición especial. Ministerio para el poder popular para la Agricultura y Tierras. pp. 71 – 90.
- Mora E y M. Toro.** 2007. Estimulación del crecimiento vegetal por *Burkholderia cepacia*, una cepa nativa de suelos ácidos de sabanas venezolanas. *Agronomía Tropical*. Vol. 57: 123-128.
- Peix A., P. Rivas-Boyer, C. Mateos, E. Rodríguez- Barrueco, E. Martínez-Molina y Velázquez.** 2001. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* unde growth chamber conditions. *Soil Biol. Biochem*. Vol. 33: 103-110.
- Pelegrin R., F. Martins, I. Nasake y A. Otsubo.** 2009. Resposta da cultura do feijoeiro a adubação nitrogenada e a inoculação com rizóbio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Vol. 33: 219-226.
- Reyes I., L. Álvarez, H. El-Ayoubi y A. Valery.** 2008. Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento de pimentón y maíz. *BIOAGRO*. Vol. 20(1): 37-48.
- Rodríguez H y R Fraga.** 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv*. Vol. 17: 319–339.
- Rojas A., G. Holguin, B. Glick y Y. Bashan.** 2001. Synergism between *Phyllobacterium* sp. (N₂-fixer) and *Bacillus licheniformis* (P-solubilizer), both from a semiarid mangrove rhizosphere. *FEMS Microbiol. Ecol*. Vol. 35: 181–187.
- Vargas E., E. Castro, G. Macaya y O. Rocha.** 2003. Variación del tamaño de frutos y semillas en 38 poblaciones silvestres de *Phaseolus lunatus* (Fabaceae) del Valle Central de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*. Vol. 51(3-4): 707-724.