

LA COINOCULACIÓN *Glomus hoi* like-*Bradyrhizobium japonicum* EN LA PRODUCCIÓN DE SOYA (*Glycine max*) VARIEDAD VERÓNICA PARA SEMILLA

A. F. Hernández✉

ABSTRACT. This research work was aimed at evaluating soybean (*Glycine max*) Verónica var. response to coinoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) by using *Glomus hoi* like and *Bradyrhizobium japonicum* respectively in Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. The experiment was carried out in winter seeding, 2005. Seed-coinoculating treatment by AMF-PGPR was compared with two PGPR-inoculated controls and seeded directly on the farm, in plots which were harvested 150 days later. Coinoculated soybean achieved the best yield and cost-benefit ratio.

Key words: soybean, fungi, arbuscular mycorrhizae, bacteria, *Glomus*, *Bradyrhizobium japonicum*, plant growth stimulants

RESUMEN. El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta de la soya (*Glycine max*) variedad Verónica a la coinoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), utilizando *Glomus hoi* like y *Bradyrhizobium japonicum* respectivamente en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. El experimento se llevó a cabo durante la campaña de siembra de invierno, 2005. El tratamiento de coinoculación de las semillas con HMA-BPCV se comparó con dos testigos inoculados con BPCV y sembrados directamente en el campo, en bloques que se cosecharon 150 días después. La soya coinoculada tuvo los mayores rendimientos y relación costo-beneficio.

Palabras clave: soja, hongos, micorizas arbusculares, bacterias, *Glomus*, *Bradyrhizobium japonicum*, estimulantes del crecimiento vegetal

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la soya (*Glycine max*) es uno de los más extendidos en la producción de granos a nivel mundial, debido por una parte a la gran adaptabilidad que tiene la planta a diferentes climas, suelos y fotoperíodos y, por otra, a la gran cantidad de usos que posee después que es cosechada, estando entre los más relevantes la producción de aceite y harina de soya, de los cuales se derivan una inmensa cantidad de productos alimenticios que cada día cobran más importancia tanto en la dieta humana como animal.

Según datos de la FAO (1), en el 2004 se produjeron 195,1 millones de toneladas métricas del preciado grano a nivel mundial, con una tendencia al incremento de la producción y se pronostica que la utilización mundial de aceites aumentará en un 3 % anual.

La mayor parte de los agricultores siempre buscan aumentar la producción por medio del incremento de las áreas de siembra, que se hacen disponibles muchas veces solo a expensas de la tala indiscriminada de los bosques, cambiando de manera abrupta la antigua forma de subsistencia extractivista de los moradores de esas zo-

nas, por la de la expansión agrícola a gran escala, que además trae aparejada la desaparición de especies vegetales y animales de gran valor (2).

Sin embargo, por lo general la producción extensiva conlleva a largo plazo a obtener bajos rendimientos, debido fundamentalmente a dos factores: suelos con baja disponibilidad de nutrientes para las plantas o una deficiente absorción de estos, debido a pérdidas que se producen por evaporación, lixiviación o fijación de los diferentes elementos nutritivos.

Obtener un rendimiento elevado por superficie es la forma más viable de aumentar la producción total con la misma superficie que se dispone, sin necesidad de sembrar áreas adicionales.

Es por ello que la tecnología de recubrimiento de las semillas de soya en coinoculación con el uso de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), promovidas por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) desde hace más de 15 años, es una opción de primera línea, donde se puede obtener producto de la simbiosis de los dos microorganismos con las raíces de las plantas inoculadas, importantes incrementos en la producción de granos por superficie, debido a que se ponen de manifiesto varios factores, como el aumento de la capacidad de exploración de la zona rizosférica, que ponen a disposición de la planta mayor cantidad de macro, micronutrientes y agua, y que se combina con la fijación de nitrógeno (3, 4, 5, 6, 7).

Ms.C. A. F. Hernández, Investigador Auxiliar del departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32700.

✉ zardon@inca.edu.cu

El objetivo fundamental de este trabajo es demostrar cómo haciendo un uso efectivo de la simbiosis entre tres simbioses, planta-HMA-BPCV, se puede lograr un aumento sustancial de los rendimientos, lo cual trae aparejado un uso más racional de los suelos y recursos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un área cercana a la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, durante la campaña de invierno del 2005, sembrándose el 28 de mayo y cosechándose el 28 de octubre, para un ciclo de 150 días.

La variedad utilizada fue Verónica, creada y producida por la empresa boliviana SEMEXA (8).

Las características químicas y de textura promedio del suelo, donde se llevó a cabo el experimento (profundidad: 0-20 cm), fueron las siguientes (9):

- ☞ Textura: entre Franco Limoso y Franco Arcillo Limoso
- ☞ Contenido de arcilla del 24%
- ☞ pH en agua de 7.2
- ☞ MO (%): 2.5
- ☞ N total (%): 0.13
- ☞ P soluble (mg.kg⁻¹): 22
- ☞ K intercambiable (Cmol.kg⁻¹): 0.40
- ☞ Ca Intercambiable (Cmol.kg⁻¹): 13.7
- ☞ Mg. Intercambiable (Cmol.kg⁻¹): 1.8
- ☞ Na intercambiable (Cmol.kg⁻¹): 0.25

El experimento se estableció utilizando un diseño de bloques al azar con tres tratamientos y cuatro réplicas: el tamaño de las parcelas fue de 4.8 m de ancho por 7 m de largo con 12 surcos cada una a una separación de 0.40 m. De ella se tomaron como área de cálculo los 10 surcos centrales y 6 m de longitud, para una superficie de cálculo de 24 m², quedando el resto como área de borde.

Los tratamientos utilizados fueron:

1. Coinoculación (*Glomus hoi* like+*Bradyrhizobium japonicum*)+Vitavac F* (fungicida protectante de semillas) + Laibonol (fertilizante foliar)
 2. Inoculación (*Bradyrhizobium japonicum*)+Vitavac F+ Laibonol
 3. Inoculación (*Bradyrhizobium japonicum*)+ Vitavac F
- * debe señalarse que el fungicida Vitavac F, utilizado como protectante de las semillas no tiene efectos negativos sobre los HMA.

Características de los inoculantes

- *Glomus hoi* like poseía un título de 40 esporas latentes por gramo
- *Bradyrhizobium japonicum* poseía un título de 1.10¹⁰ ufc.mL⁻¹

El recubrimiento de las semillas se realizó utilizando un tanque metálico (que gira rotacionalmente de forma excéntrica), donde por cada 100 kg de semilla se utilizaron: 6 kg de inoculante en polvo *Glomus hoi* like, 25 mL de inoculante líquido *Bradyrhizobium japonicum* y 200 mL de fungicida Vitavac F. Estos dos líquidos (*B. japonicum* y Vitavac F) se mezclan y se les adicionan 375 mL de agua para completar 600 mL de líquido.

El método seguido para recubrir fue el siguiente: se vierten en el tanque por una ventana los 100 kg de semilla y se le agregan los 600 mL de la mezcla líquida, se hace girar el tanque hasta que toda la semilla se haya humedecido de forma pareja, se detiene, se abre la ventana y se agregan los 6 kg de inoculante en polvo *Glomus hoi* like, se tapa, se dan varias vueltas hasta que la semilla esté completamente recubierta, se extrae la semilla del tanque poniendo la ventana hacia abajo y vertiéndola nuevamente en la bolsa de donde se había extraído.

Para que no existiera contaminación de los tratamientos que solo se inoculaban con *Bradyrhizobium japonicum*, se llevó a cabo primero el recubrimiento de las semillas de los tratamientos que solamente estaban inoculados con la bacteria (tratamientos 2 y 3) y al final se coinoculó el que contenía los dos inoculantes (tratamiento 1).

Los tratamientos 1 y 2 fueron fertilizados con una aplicación foliar del fertilizante Laibonol (9-3-6 más microelementos) a razón de 1.5 L.ha⁻¹ durante la fase de crecimiento, a la edad de 30 días después de la siembra.

Las mediciones y evaluaciones llevadas a cabo durante la cosecha fueron las siguientes:

Índices de crecimiento

- Altura de las plantas (cm)
- Altura de la primera vaina (cm)

Rendimiento y sus componentes

- Número de vainas por planta
- Número de granos por vaina y por planta
- Peso de 100 granos
- Rendimiento (t.ha⁻¹)

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza de clasificación simple. En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan, utilizándose para los análisis el paquete estadístico SPSS.

Para la obtención de los resultados que se encuentran en el análisis económico, se utilizó la metodología propuesta por la FAO (10), donde estos se obtienen y clasifican a partir de los siguientes cálculos y criterios de medida:

Beneficio neto: valor de la producción-costo de los fertilizantes (\$)

$$\text{Relación valor/costo} = \frac{\text{Valor del aumento de la producción (\$)}}{\text{Costo de los fertilizantes (\$)}}$$

Una relación >1 indica que el fertilizante aportó un beneficio

Una relación >2 indica un beneficio del 100 %

Una relación >3 indica un beneficio muy notable

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tanto para los índices de crecimiento en altura de las plantas y primeras vainas, como para los resultados de rendimiento y sus componentes, se puede observar en la Tabla I, que el tratamiento 1, correspondiente a la coinoculación *Glomus hoi* like+*Bradyrhizobium japonicum*+Vitavac F+Laibonol, supera significativamente

a los otros dos con los que se está comparando y el efecto fundamental está dado por la simbiosis que se establece entre planta-HMA-BPCV.

Entre los tratamientos 2 y 3 no se encontraron diferencias significativas; sin embargo, existe un ligero incremento en el tratamiento 2, debido a la aplicación del fertilizante foliar Laibonol, que supera al tratamiento 3 en 130 kg de grano.ha⁻¹.

Los resultados correspondientes a la altura de las primeras vainas son muy importantes en este cultivo y se puede observar que las vainas en el tratamiento 1 están tres centímetros más despegadas del suelo que en los tratamientos 2 y 3; esto puede influir positivamente en la producción de soya por dos motivos: en primer lugar, las vainas más bajas al estar más separadas del suelo tienen menos posibilidades de humedecerse y quedar inservibles los granos por ataque de hongos, siendo aún más importante en aquellas plantaciones dedicadas a la producción de semillas, donde todas deben tener una alta calidad y, en segundo aspecto, corresponde con la menor posibilidad de pérdida de granos al pasar la máquina cosechadora.

Respecto a la altura de las plantas, se observa que esta se encuentra en correspondencia con los componentes del rendimiento, número de vainas por planta y número de semillas por vaina, que como se ha expresado anteriormente también sobresale el tratamiento 1 sobre el 2 y 3, debiéndose este efecto principalmente a la simbiosis que lleva a cabo la planta con dos simbioses al unísono: el primero va a suministrar nitrógeno a las plantas inoculadas y el segundo va a crear una red de hifas, que partiendo del interior de la raíz va a explorar un área mayor que el sistema radical de las plantas que no fueron inoculadas con *Glomus hoi* like, pudiendo este simbionte solubilizar y traslocar a las plantas todos aquellos elementos que se encuentran en el suelo, incluso en forma no disponible, así como las hifas del hongo que son finísimos capilares, tienen la capacidad de extraer el agua del suelo a presiones osmóticas donde la raíz de la planta por sí sola no es capaz de extraerla (3, 5, 6, 11).

Todos estos efectos se unen para proporcionar a la planta coinoculada una mayor nutrición, que también tiene un efecto importante en el peso de los granos y junto a los otros componentes, van a proporcionar un mayor rendimiento que, según se observa en la columna derecha de la Tabla I, sobrepasa en más de media tonelada por hectárea al tratamiento 2 que es el más cercano.

Estos resultados corroboran los obtenidos en la provincia de Pinar del Río (12), trabajando con la variedad de soya G7-R-315, coinoculada con *Bradyrhizobium japonicum* y *Glomus fasciculatum*, donde se obtuvo una respuesta alta en el rendimiento superando al testigo inoculado solamente con *Bradyrhizobium japonicum* en 0.93 t.ha⁻¹.

Otros trabajos realizados (13) arrojaron también rendimientos altos de las coinoculaciones *Bradyrhizobium japonicum* (fermentación tradicional) e inoculantes a base de hongos micorrizógenos del género *Glomus* en el recubrimiento de las semillas de soya antes de la siembra, equivalentes a los de una fertilización de 120 kg de N.ha⁻¹, al comparar con testigos de dosis de nitrógeno, superando en un 13.76 % al testigo.

Como resultado de ese mismo trabajo, el tratamiento donde se utilizó la coinoculación *Bradyrhizobium japonicum* (fermentado en medio Nod) + inoculante a base de HMA en el recubrimiento de las semillas antes de la siembra, se obtuvieron rendimientos que superaron en 25.64 % el rendimiento del testigo, debido a una mayor eficiencia en la fijación de nitrógeno por la bacteria y entre simbioses.

Resultados muy similares se alcanzaron en la provincia de La Habana (14), en inoculaciones con *Bradyrhizobium japonicum* comparadas con coinoculaciones de *Glomus hoi* like+*Bradyrhizobium japonicum* en soya variedad INCASOY-1, donde hubo diferencias significativas entre tratamientos y mejores resultados en la coinoculación que en la inoculación, tanto para el rendimiento como para los índices número de vainas por planta, número de granos por vaina y peso promedio de 100 granos.

Tabla I. Resultados de la altura de las plantas y la primera vaina, el rendimiento y sus componentes

Tratamientos	Altura de las plantas (cm)	Altura de la primera vaina (cm)	Número de vainas por planta	Número de granos por vaina	Número de granos por planta	Peso de 100 granos	Rendimiento (t.ha ⁻¹)
Coinoculación (<i>Glomus hoi</i> like + <i>B. japonicum</i> +Vitavac F) + (Laibonol)	57.55 a	9.14 a	40.37 a	1.75 6 a	70.88 a	17.98 a	2.82 a
Inoculación (<i>B. japonicum</i> +Vitavac F) + (Laibonol)	44.57 b	6.22 b	36.59 b	1.581 b	57.85 b	16.93 b	2.27 b
Inoculación (<i>B. japonicum</i> +Vitavac F)	44.32 b	6.12 b	35.75 b	1.550 b	55.41 b	16.76 b	2.14 b
ESx	1.48 ***	0.51 **	1.0357 *	0.0593 *	2.6318 **	0.0818***	0.1797*
CV %	6.08	14.42	5.51	7.27	8.59	0.95	14.74

Medias con letras comunes no difieren significativamente según la Dócima de Rangos Múltiples de Duncan
Niveles de significación: P<0.005.* P<0.01.** P<0.001.***

Para tener un conocimiento más exacto, desde el punto de vista económico, de lo que representó el uso de la coinoculación *Glomus hoi* like+*Bradyrhizobium japonicum* aplicada en el tratamiento 1 en comparación con la inoculación solo con *Bradyrhizobium japonicum*, así como también el efecto que tuvo el fertilizante foliar Laibonol, se presenta a continuación la Tabla II, siguiendo la metodología de la FAO (10).

* El tratamiento 2 correspondiente a la inoculación de la soya antes de la siembra con *Bradyrhizobium japonicum* y la aplicación del fertilizante foliar Laibonol a los 30 días después de la siembra, a pesar de no ser tan bueno y productivo como el tratamiento 1, resultó un tratamiento económicamente viable comparándolo con el tratamiento 3, donde no se aplicó el fertilizante foliar Laibonol.

Tabla II. Análisis económico

Precios actuales de los fertilizantes químicos y biológicos utilizados (9)						
Inoculante de <i>Glomus hoi</i> like \$16.80.ha ⁻¹			Precio de la soya para semilla \$370.00.tonelada ⁻¹			
Inoculante de <i>Bradyrhizobium japonicum</i> \$ 1.50.ha ⁻¹						
Fertilizante foliar Laibonol \$ 6.30.ha ⁻¹						
Cálculo según FAO (1980)						
Tratamientos	Rendimiento (t.ha ⁻¹)	Valor de la producción (USD \$)	Valor del aumento de la producción (USD \$)	Costo fertilizantes (USD\$.ha ⁻¹)	Beneficio neto (USD\$.ha ⁻¹)	Relación valor/costo
Coinoculación (<i>Glomus hoi</i> like+B. <i>japonicum</i> +Vitavac F)+(Laibonol)	2.82	1043.40	251.60	24.60	1018.80	10.22
Inoculación (<i>B. japonicum</i> +Vitavac F) +(Laibonol)	2.27	839.90	48.10	9.10	830.80	5.28
Inoculación (<i>B. japonicum</i> +Vitavac F)	2.14	791.80	-	-	-	-

En esta tabla se puede apreciar que donde se utiliza el tratamiento 1 de coinoculación (*Bradyrhizobium japonicum*+*Glomus hoi* like+Vitavac F)+(Laibonol) se va a obtener el mayor beneficio, a pesar de que el valor de los fertilizantes que se aplicaron fue mayor (tanto biológicos como químicos) con un beneficio neto de \$1018.8 USD.ha⁻¹, que representa el doble de lo que se obtiene en el tratamiento 2 de inoculación (*Bradyrhizobium japonicum*+Vitavac F)+(Laibonol) y que, sin duda, ha sido aportado por el sinergismo de *G. hoi* like con el *Bradyrhizobium japonicum* y el componente Laibonol.

También se puede inferir que el fertilizante foliar Laibonol cumple un papel importante en la complementación nutricional de las plantas, cuando se comparan los tratamientos 2 (*Bradyrhizobium japonicum*+Vitavac F)+(Laibonol) y 3 donde no se aplicó Laibonol y se obtiene una ganancia de \$ 838.80.

CONCLUSIONES

* Quedó demostrado experimentalmente que cuando se realiza la coinoculación *Glomus hoi*like-*Bradyrhizobium japonicum* a las semillas de soya antes de la siembra, se pueden obtener rendimientos mucho mayores que cuando se realiza solamente la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum*, siendo en este caso el rendimiento superior al testigo en 0.5 t.ha⁻¹, lo que equivale a un aumento del 24 %, lo cual contribuye de forma inexorable a que haya una utilización mas eficiente de los recursos, entre ellos ese tan escaso que es el suelo, así como a un mayor beneficio económico para los agricultores.

REFERENCIAS

1. FAO. Perspectivas alimentarias. *Boletín*, 2004, no. 2, p. 47.
2. King, A. Amazonia: Los límites de la opción extractiva. *Ciencia Hoje*, 2005, vol. 27, no. 159, p. 70-73.
3. Siquiera, J. O.; Texeira, A. y Faquim, V. O papel dos microorganismos na disponibilidade de fósforo da Rizosfera para as prantas. *Informaciones Agronómicas*. 2003, no. 102, p. 3.
4. Fernández, F. La simbiosis micorrízica arbuscular, En: El manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. Primera Edición, La Habana:Ediciones INCA, 2003, p. 13-48.
5. Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sanchez, C.; Riera, M.; Hernández-Zardón, A.; Hernández, A. y Plana, R. Advances on management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. En: Abstracts book International Conference on Micorrhiza "Micorrhiza for Science and Society" (5:2006 jul. 23-27:Granada), 2006. p. 268.
6. Caballero-Mellado, J. Microbiología agrícola e interacciones microbianas con plantas. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 2006, vol. 48, no. 2, p. 154-161.
7. Sánchez-Yáñez, J. M. Bacterias promotoras de crecimiento vegetal. *Microbiología Ambiental*. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 2005, Morelia, Mich, México. Consultado (10-10-2008). Disponible en: <<http://www.monografias.com/trabajos33/crecimiento-vegetal/crecimiento-vegetal.shtml>>.
8. SEMEXA. Ingeniería Genética: SX- Verónica en: Ingeniería de precisión. *Boletín agrícola*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2004, no. 11, p. 8.

9. ANAPO. Los agroquímicos y semillas ¿Cuánto cuestan? Santa Cruz: Asociación de Productores de Oleaginosas y Trigo. 2004, 42 p.
10. FAO. Los fertilizantes y su empleo. Guía de bolsillo para extensionistas. Fomento de tierras y aguas, 1980, no. 8, p. 54. Colección FAO.
11. Blanco, F. y Salas, E. Micorrizas en la Agricultura: Contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agro-nomía Costarricense*, 1997, vol. 21, no. 1, p. 55-67.
12. Hernández, M. y Cuevas, F. Efecto de la inoculación con cepas de *Bradyrhizobium* y micorriza arbuscular en el desarrollo del cultivo de la soya (*Glicine max* (L) Merrill). *Cultivos Tropicales*, 2003, vol. 24, no. 2, p. 19-21.
13. Corbera, J.; Nápoles, M. C.; Núñez, M. y Fernández, F. Empleo del conjunto de biofertilizantes y el estimulador del crecimiento vegetal BB-16 como tecnología para la producción de soya (*Glicine max.*) cultivada sobre un suelo ferrasol. En: Memorias del Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. (4:2006.mar 8-10:La Habana) 2006.
14. Corbera, J. Coinoculación *Bradyrhizobium japonicum*-micorriza vesículo arbuscular como fuente alternativa para el cultivo de la soya. *Cultivos Tropicales*, 1998, vol. 19, no.1, p. 17-20.

Recibido: 2 de noviembre de 2007

Aceptado: 24 de noviembre de 2008

Cursos de Verano

Precio: 320 CUC

Biotecnología

Coordinador: Dra.C. María M. Hernández Espinosa

Fecha: julio

Duración: 40 horas

SOLICITAR INFORMACIÓN

Dr.C. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación, Servicios Informativos
y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba. CP 32700
Telef: (53) (47) 86-3773
Fax: (53) (47) 86-3867
E.mail: posgrado@inca.edu.cu