

Fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (*Glycine max* L.) Biological, organic and reduced mineral fertilization in soybean (*Glycine max* L.)

Arturo Díaz-Franco¹, Florencia Alejandro-Allende^{1,‡} , Ma. Eugenia Cisneros-López¹ ,
Martín Espinosa-Ramírez¹  y Flor Elena Ortiz-Cháirez¹ 

¹ Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. Carretera Matamoros-Reynosa km 61. 88900 Río Bravo, Tamaulipas, México.

[‡] Autora para correspondencia (alejandro.florencia@inifap.gob.mx)

RESUMEN

La fertilización química mineral (FQ) en soya (*Glycine max* L.) es una práctica regular y está en función de la disponibilidad de humedad en el suelo. El incremento en el costo de los insumos agrícolas y la pérdida de la fertilidad del suelo, impulsan la búsqueda de estrategias sustentables. El objetivo de este experimento fue usar alternativas de fertilización biológica (FB) en este cultivo con la variedad Huasteca 400. Los tratamientos fueron: 1) testigo, 18-46-00 (100% FQ); 2) micorriza arbuscular Biogea[®] + 50% FQ; 3) micorriza arbuscular INIFAP + 50% FQ; 4) Biogea + gallinaza (1 Mg ha⁻¹) + 50% FQ; 5) Biogea + yeso (0.5 Mg ha⁻¹) + 50% FQ; y 6) *Bradyrhizobium japonicum* (Cel Tech[®]) + micorriza arbuscular INIFAP (*Rhizophagus intraradices*). Se midió el índice SPAD, en las etapas V1, V5 y R2, altura de planta en V5 y R5. El rendimiento, porcentaje de aceite y proteína del grano se cuantificaron a la cosecha. El análisis económico de la producción, se determinó por la rentabilidad. No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos alternativos y el testigo. La combinación entre *B. japonicum* y *R. intraradices* demostró la mejor rentabilidad con una relación beneficio-costo de 2.6 y una ganancia de \$11 890 por hectárea. Este manejo alternativo de nutrición de la soya puede promover mayor rentabilidad y disminución por contaminación en el entorno agroecológico.

Palabras claves: aceites, biofertilizantes, proteína, rendimiento, rentabilidad.

SUMMARY

Chemical mineral fertilization (CF) in soybean (*Glycine max* L.) is a regular practice and depends on the availability of moisture in soil. The increase in cost of agricultural inputs and loss of soil fertility drive the search for sustainable strategies. The objective of this experiment was to use biological fertilization alternatives (FB) in this crop with the Huasteca 400 variety. Treatments were (1) control, 18-46-00 (100% CF); (2) arbuscular mycorrhizal Biogea[®] + 50% CF; (3) arbuscular mycorrhizal INIFAP + 50% CF; (4) Biogea + poultry manure (1 Mg ha⁻¹) + 50% CF; (5) Biogea + gypsum (0.5 Mg ha⁻¹) + 50% CF; and (6) *Bradyrhizobium japonicum* (Cel Tech[®]) + arbuscular mycorrhiza INIFAP (*Rhizophagus intraradices*). Soil plant analysis development (SPAD) index was measured in stages V1, V5, and R2, and plant height in V5 and R5. Yield, grain protein, and oil percentage were quantified at harvest. The economic production analysis was determined by profitability. No statistical differences were recorded between alternative treatments and the control group. The combination between *B. japonicum* and *R. intraradices* showed the best profitability with a benefit-cost ratio of 2.6 and a profit of USD 11 890 per hectare. This alternative management of soybean nutrition can promote greater profitability and decrease due to contamination in the agroecological environment.

Index words: oil, biofertilizers, protein, yield, profitability.

Cita recomendada:

Díaz-Franco, A., Alejandro-Allende, F., Cisneros-López, M. E., Espinosa-Ramírez, M. y Ortiz-Cháirez, F. E. (2021). Fertilización biológica, orgánica y mineral reducida en soya (*Glycine max* L.). *Terra Latinoamericana*, 39, 1-9. e725. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.725>

Recibido: 21 de abril de 2020. Aceptado: 03 de marzo de 2021.
Artículo. Volumen 39, mayo de 2021.

INTRODUCCIÓN

La soya (*Glycine max* L.) es una oleaginosa de importancia agrícola, en la producción de lípidos y proteínas para el sector agropecuario mundial. En México la demanda aproximada es de 5 millones de toneladas. La producción es menor a la demanda, entre grano y subproductos, mientras que la importación es de 4.7 millones de toneladas (García-Fernández, Legarreta, Serna y Wallace, 2018). Al cierre del año agrícola 2020 en México, de un total de 165.5 mil hectáreas, la producción fue de 266.4 mil toneladas; el estado de Tamaulipas produjo el 22% de la superficie nacional (SIAP, 2020). Este cultivo se concentra en el sur del estado, en modalidad tradicional o de temporal, donde la siembra es el 25% de los costos, mientras que la preparación del terreno y la fertilización, representan el 17%, respectivamente (FIRA, 2020). En la región norte del estado la importancia de la superficie sembrada ha variado con el tiempo (SIAP, 2020), en función de los esquemas de comercialización del grano. La soya incorporada al sistema de producción sorgo y maíz, representa una opción para la rotación de cultivos, también puede incrementar la productividad y sostenibilidad de la agricultura, ya que se ha desarrollado un paquete tecnológico para soya en la región Norte de Tamaulipas (Magallanes *et al.*, 2014). Esa tecnología deberá ser acorde a un manejo eficiente y tener un enfoque de sostenibilidad agrícola, rentable y con el menor impacto ambiental (Nath *et al.*, 2017).

Los insumos naturales como abonos orgánicos, compostas, biosólidos, hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y rizobacterias son una alternativa de fertilización biológica. Se ha reportado que pueden mejorar la absorción de nutrientes en la rizósfera, producir hormonas vegetales, mejorar las propiedades físicas del suelo, favorecer la biodegradación de sustancias, reciclar nutrientes, favorecer sinergias microbianas, entre otros (Beltrano, Ruscitti, Arango y Ronco, 2013; Yaish *et al.*, 2016). Adicionalmente, su uso permite incrementar la productividad por área cultivada en corto tiempo, consumir menor cantidad de energía, mitigar la contaminación del suelo y el agua, incrementar la fertilidad del suelo y favorecer el control biológico de fitopatógenos (Kumar y Verma, 2019; Bouajila y Sanaa, 2011; Carvajal y Mera, 2010; Adesemoye y Kloepper, 2009).

En Brasil la inoculación a la semilla de soya con la bacteria fijadora de nitrógeno *Bradyrhizobium* spp., es una práctica regular (Cassán *et al.*, 2009; Zilli, Campo y Hungría, 2010). Al inocular semilla de soya con *Bradyrhizobium* spp. en Argentina, Lodeiro (2015) encontró que hay factores que pueden influir en la efectividad del tratamiento como: la adhesión a la testa de la semilla, supervivencia, liberación y movimiento de los rizobios en la periferia de las raíces hasta los sitios de infección. En regiones productoras de México, en general se recomienda fertilizar con la fórmula 18-46-00 (García, 2017). Comercialmente en el norte de Tamaulipas, la inoculación a la semilla se realiza con *Bradyrhizobium japonicum* y micorriza arbuscular. La respuesta sinérgica ha sido demostrada en soya (Babalola, Atayese y Soyoye, 2009; Díaz-Franco, Gálvez-López y Ortiz-Cháirez, 2015; Sharma *et al.*, 2016).

Los HMA tienen diferentes actividades simbióticas. Se ha observado que el crecimiento del micelio, aumenta la capacidad de exploración radicular y como consecuencia disminuyen los efectos de condiciones abióticas adversas para el cultivo, tales como la salinidad (Beltrano *et al.*, 2013) e inmovilidad del fósforo (Zhang *et al.*, 2011). Estos microorganismos sintetizan promotores del crecimiento vegetal, que favorecen la absorción de nutrientes tales como: N, P, Fe, Zn, Cu y Mn (Smith y Read, 2008). Producen glomalina que adhiere las partículas del suelo, e inducen acción protectora contra algunos fitopatógenos del suelo Kumar y Verma, 2019).

El estiércol es una fuente de macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (S, Ca y Mg) que requieren las plantas. El efecto del estiércol en el suelo y su valor nutricional varía en función de la fuente animal, aplicación en campo y el clima (Burton, 2007). El estiércol influye en la infiltración del suelo (Ojeniyi, Amusan y Adekiya, 2013), capacidad de retención de agua, compactación y erosión (Rasoulzadeh y Yaghoubi, 2010; Salahin *et al.*, 2011). Hay diferencias entre los tipos de estiércol. La gallinaza y la porqueraza tienen mejores características que el vacuno y equino, porque se mineralizan en menor tiempo, después de su incorporación al suelo (Hue y Silva, 2000). Objetivos: 1) Evaluar el efecto de fertilizantes biológicos, gallinaza y fertilización mineral reducida en el cultivo de soya y 2) Determinar a productividad estimada con la relación beneficio/costo, como estrategias sustentables en el manejo de la fertilización al cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental fue el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del INIFAP, con localización geográfica en 25° 57' 16.9" N, 98° 01' 05.7" O; altitud de 25 m. El suelo se muestreó a una profundidad de 0-30 cm antes de la siembra. Las determinaciones fisicoquímicas se hicieron en el laboratorio. En la estación climática se registraron: precipitación, temperatura ambiente y humedad relativa durante el ciclo del cultivo.

La variedad de soya utilizada fue 'Huasteca 400' sembrada manualmente el 25 de agosto de 2015. Se evaluaron los siguientes tratamientos: 1) HMA *Rhizophagus* spp. (Biogea®, Abonos Biológicos, S.A. de C.V.) + 9-23-00 (50% FQ); 2) HMA *Rhizophagus intraradices* (micorriza INIFAP) + 50% FQ; 3) *Rhizophagus* spp. + gallinaza [Meyfer®, Verita, S.A. de C.V. (4.64% N total, 5.42% P, 3.13% K, 338 mg kg⁻¹ Cu, 6588 mg kg⁻¹ Fe, 799 mg kg⁻¹ Mn, 568 mg kg⁻¹ Zn, 42.1% M.O.)] 1 Mg ha⁻¹ + 50% FQ; 4) *Rhizophagus* spp. + sulfato de calcio (yeso) 0.5 Mg ha⁻¹ + 50% FQ; 5) fertilización convencional, 18-46-00 (100% FQ); y 6) Cell-Tech®, Novozymes BioAg, Inc. (*Bradyrhizobium japonicum*, 175 mL 50 kg⁻¹ de semilla) + *R. intraradices* (Díaz-Franco *et al.*, 2015). Los hongos micorrízicos *Rhizophagus* spp. y *R. intraradices* se inocularon en la semilla, a razón de 100 mL ha⁻¹ y 2 kg ha⁻¹, respectivamente. La gallinaza, el yeso y el fosfato diamónico (DAP, 18-46-00) se aplicaron en presiembra durante el mes de julio, mientras que el tratamiento de semilla con los inoculantes fue el día de la siembra. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela fue de cuatro surcos de 4 m × 0.81 m. La clorosis férrica se corrigió desde la etapa vegetativa V2 a la V3 con tres aplicaciones foliares de sulfato ferroso (FeSO₄) al 1.5%, con una aspersora manual, cada siete días a partir del 8 de septiembre. En forma preventiva se hizo una aplicación con el fungicida Opera® (piraclostrobina + epoxiconazol), al inicio de la floración, contra la roya asiática (*Phakospora pichyrhizi*). El manejo agronómico del cultivo se efectuó conforme a Magallanes *et al.* (2014).

Las variables medidas fueron: índice SPAD (Minolta SPAD 502®) o clorofila foliar se determinó en el tercio superior de la planta con lecturas del 25 de septiembre (V1), 17 de octubre (V5) y 17 de noviembre

(R2); y altura de planta (cm) el 17 de octubre en floración (R2) y 17 de noviembre (R5). En madurez se estimó el rendimiento de grano de los surcos centrales de las parcelas, ajustado al 12% de humedad. En tres repeticiones se tomó un kilogramo de grano por tratamiento para su posterior análisis del contenido (%) de proteína con el método Kjeldahl (García-Martínez y Fernández-Segovia, 2012), y aceite (%) determinado mediante el método de Resonancia Magnética Nuclear (NMR) (Costa, Balparda, Mazzuco y Nascimento, 2004). La diferencia entre los tratamientos se calculó con el Análisis de Varianza y prueba de medias DMS ($P \leq 0.05$) con el programa SAS® (SAS, 2014).

El análisis económico se realizó a través del indicador de rentabilidad o ganancia y la relación beneficio-costo (RBC) para cada tratamiento, según los insumos: HMA Biogea, \$320 ha⁻¹; micorriza INIFAP, \$40 ha⁻¹; Cell-Tech, \$72 ha⁻¹; yeso, \$1300 Mg ha⁻¹; gallinaza, \$1600 Mg ha⁻¹; 18-46-00, \$870 ha⁻¹. La rentabilidad del cultivo se calculó por medio restar del costo total menos el ingreso total (Mejía y Castellanos, 2018). La relación beneficio-costo con la ecuación $RBC = IT/CT$, donde IT es el ingreso total resultado del rendimiento obtenido por el precio de mercado y CT el costo total de la producción (Salinas, Espinosa, Martínez y Cadena, 2017; Retes *et al.*, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El pH del suelo fue 7.7, 1.5% de MO y conductividad eléctrica 1.21 dS m⁻¹ de textura arcillosa. Macroelementos: N inorgánico (20.1), P Olsen (20.4) y K extraíble (851) en mg kg⁻¹. Microelementos: Fe (0.32), Cu (0.7), Mn (0.4) y Zn (0.2) en mg kg⁻¹, CIC (35 meq/100 g suelo), bicarbonatos (1.3), cloruros (5.6), sulfatos (15.6) y Na (8.6) en meq L⁻¹. Estos resultados indican, un suelo de textura fina, ligeramente alcalino, sin problemas de salinidad y bajo contenido de materia orgánica (< 2%), niveles medianamente altos de nitrógeno y fósforo y contenidos ligeramente bajos de potasio y deficiente en microelementos Fe, Cu y Zn. Con alta capacidad de intercambio catiónico, bajo en cloruros y sodio. Las condiciones ambientales registradas durante el experimento se presentan en el Cuadro 1. Previo a la siembra durante el mes de julio, la precipitación fue muy escasa. Mientras que en agosto y septiembre se acumuló el 42 y el 37% de lo que llovió durante todo el ciclo del cultivo.

Cuadro 1. Datos climáticos. Estación Río Bravo, Tamaulipas, México. CERIB-INIFAP, 2015.
Table 1. Weather climatic data. Rio Bravo, Tamaulipas, Mexico Station. CERIB-INIFAP, 2015.

Mes	Número de días PP‡	PP‡	Temperatura			HR
			Máxima	Minima	Media	
		mm	°C			%
Julio	2	9.8	35.5	23.9	29.22	74.4
Agosto	4	149.0	35.9	23.8	29.2	73.5
Septiembre	7	131.8	33.2	22.3	27.0	82.7
Octubre	7	41.8	31.3	20.1	25.2	79.7
Noviembre	4	24.0	25.8	16.7	21.0	83.9
Diciembre	2	7.2	24.7	13.0	18.4	77.0
	26	363.6	31.1	20.0	25.0	78.5

‡ PP = precipitación acumulada; HR = humedad relativa.

‡ PP = accumulated precipitation; HR = relative humidity.

En cultivo de temporal, las variedades de soya Huastecas crecen en regiones con precipitaciones entre 800 a 1000 mm (Maldonado, Ascencio y García, 2017). La disponibilidad de agua en la región Norte del estado es importante, porque se presentan variaciones drásticas, debido a las sequías recurrentes y cambios en la distribución de la misma. La situación se agrava por la presencia en México de la sequía intra estival llamada “canícula” (del 22 de julio al 22 de agosto). Este decremento ocurre en los meses del verano (junio, julio, agosto y septiembre) y la magnitud de los cambios varía entre años (Sánchez-Santillán, Binnqüist y Garduño, 2018). Este factor influye en el aprovechamiento de la fertilización química. En cuanto a la temperatura, el amarre de las vainas se retarda cuando se presentan temperaturas < de 22 °C y cesa cuando hay valores de < 14 °C (Toledo, 2018). En este experimento, durante la etapa reproductiva (septiembre a noviembre), la temperatura estuvo dentro del rango de tolerancia.

Las diferencias entre tratamientos de fertilización fueron solo numéricas (Cuadro 2), estadísticamente no hubo efecto estadístico ($P \leq 0.05$), en el índice de clorofila y altura. Las variaciones se observaron entre las fechas de muestreo. Los cambios en el crecimiento y en el contenido de clorofila de la hoja, están relacionados con la etapa fenológica de la soya. En etapas tempranas de crecimiento (expansión de las hojas verdaderas), hasta prefloración (24-51 DDS), los valores oscilan entre 35 a 40 unidades SPAD;

posteriormente llega a un máximo de 45 unidades; en la fase reproductiva a los 80 DDS ocurre una disminución gradual hasta 28 unidades; la magnitud de los cambios, varía entre genotipos (Yasuta y Kokubun, 2014). Respecto al crecimiento, en las variedades de hábito determinado como la Huastecas-400, después del inicio de floración en la etapa R2 (52 DDS), el crecimiento de la planta cesa al inicio de la formación de vainas en R5 (83DDS), cuando se observa la formación de semillas (Toledo, 2018) y se alcanza la altura máxima.

La fertilización biológica y mineral reducida tuvo el mismo efecto que la fertilización mineral convencional (18-46-00) en la producción de grano, contenido de proteína y aceite en soya (Cuadro 3). De igual forma, el contenido proteico del grano de sorgo, según Díaz-Moreno, Díaz, Garza y Ramírez (2007) no cambia por efecto de la fertilización biológica con HMA o mineral. En los tratamientos que llevaron triple combinación de componentes, no tuvieron un efecto aditivo en los resultados. Trasviña *et al.* (2018) reportan que el yeso agrícola a dosis de 5 y 10 Mg ha⁻¹ en suelos con un pH (7.5) y CE (12.4 dS m⁻¹), el pH aumenta después de la aplicación, disminuye los valores de la conductividad eléctrica, la relación de absorción de sodio y porcentaje de sodio intercambiable. En este experimento, el tratamiento 4 (HMA Biogea+yeso+50% FQ), fue aplicado asumiendo, que el yeso agrícola podría favorecer la absorción de los micronutrientes y el crecimiento radical del cultivo, en combinación con el HMA. Los resultados de este tratamiento pueden

Cuadro 2. Valores en el contenido de clorofila con índice SPAD y altura de planta de soya ‘Huasteca 400’, asociados con fertilización biológica y mineral reducida.**Table 2. Values of chlorophyll content index, soil plant analysis development (SPAD) and plant height of soybean ‘Huasteca 400’, associated with biological and reduced mineral fertilization.**

Tratamientos	Clorofila (índice SPAD)				Altura de planta		
				Media	- - - - cm - - - -		Media
HMA Biogea+50% FQ	28.0	31.3	34.8	31.4 a [‡]	76.0	81.7	63.0 a [‡]
HMA INIFAP+50% FQ	28.7	31.4	36.4	32.1 a	74.9	82.2	63.1 a
HMA Biogea+gallinaza+50% FQ	28.1	30.7	36	31.6 a	75.1	82.7	63.1 a
HMA Biogea+yeso+50% FQ	28.0	31.2	36.2	31.8 a	74.8	83.2	63.3 a
100% FQ. 18-46-00 (testigo)	28.4	31.3	38	32.6 a	76.5	84.7	64.6 a
Cell-Tech+HMA INIFAP	28.4	33.0	36.9	32.8 a	75.6	83.7	64.0 a
Fechas de muestreo	25-Sep	17-Oct	17-Nov		17-Oct	17-Nov	
DDS	30.0	52.0	83		52.0	83.0	
Media	28.3 B	31.5 AB	36.4 A		75.5 B	83.1 A	

HMA = hongos micorrízicos arbusculares; FQ = fertilización química; DDS = días después de la siembra. [‡] Genotipos con la misma letra dentro de cada columna son iguales medias según DMS ($P < 0.05$).

HMA = arbuscular mycorrhizal fungi; FQ = chemical fertilization; DDS = days after sowing. [‡] Genotypes with the same letter within each column are the same according to DMS ($P < 0.05$).

atribuirse al nivel de salinidad en sitio experimental (1.21 dS m⁻¹), más que al pH (7.7). En soya se ha observado que aplicar S (como sulfato), solo o en combinación con P, en las dosis mayores y con la combinación P+S+Mg incrementan la producción de

grano, proteína aceite, en suelos con un pH entre 5 y 6 (Martínez y Cordone, 2015).

La producción de grano promedio entre tratamientos correspondió a 3.120 Mg ha⁻¹; con un contenido de 31.9% de proteína y 19.7% de aceite

Cuadro 3. Efecto de la fertilización biológica y mineral reducida en la producción de soya ‘Huasteca 400’.**Table 3. Effect of biological fertilization and reduced mineral on ‘Huasteca 400’ soybean production.**

Tratamiento	Rendimiento	Proteína	Aceite
	kg ha ⁻¹	- - - - - % - - - - -	
HMA Biogea + 50% FQ	2962	31.40	20.07
HMA INIFAP + 50% FQ	3364	32.41	19.45
HMA Biogea + gallinaza + 50% FQ	3055	31.79	19.85
HMA Biogea + yeso + 50% FQ	2919	31.60	19.84
100% FQ. 18-46-00 (testigo)	3111	31.99	19.58
Cell-Tech + HMA INIFAP	3310	32.19	19.26
Promedio	3120	31.90	19.70
* $P > F$	NS	NS	NS

HMA = hongos micorrízicos arbusculares; FQ = fertilización química. NS = no significativo. * Probabilidad estadística $P > F = 0.05$.

HMA = arbuscular mycorrhizal fungi; FQ = chemical fertilization. NS = not significant. * Statistical probability $P > F = 0.05$.

(Cuadro 3). Estos valores se encuentran dentro del rango, registrado en parcelas comerciales de la región (Magallanes *et al.*, 2014). Clemente y Cahoon (2009) y de Mello *et al.* (2004), indicaron que la calidad de grano en las variedades comerciales de soya muestra variaciones, dichas fluctuaciones para el contenido de proteína son de 30-53% y las de aceite van de 10-27%. La co-inoculación de *B. japonicum* (Cell-Tech) + *R. intraradices* (HMA INIFAP) produjo una respuesta semejante al resto de los tratamientos sin la adición de fertilizante mineral. En un estudio previo, Díaz-Franco *et al.* (2015) registraron una respuesta similar en la concentración de clorofila, biomasa, vainas/planta y grano/hectárea, utilizando como inoculante la combinación de *B. japonicum* y *R. intraradices* o la de *B. japonicum* y *R. intraradices* + 18-46-00, estos tratamientos fueron superiores a la inoculación independiente de cada uno de ellos. Además, el número de vainas y el rendimiento fueron positivamente correlacionados ($r = 0.97$) con las unidades de clorofila SPAD. Igualmente, Sharma *et al.* (2016) determinaron que mediante la inoculación combinada *Bradyrhizobium*-HMA en soya, registraron los mayores incrementos en nodulación, colonización micorrízica, absorción de N, actividad de fosfatasas, además del rendimiento de grano.

El efecto sinérgico de la combinación de *Bradyrhizobium*-HMA, es potencialmente una estrategia ecológica para mejorar el equilibrio de la rizósfera, por la reducción de fertilizantes químicos y por lo tanto, de la acumulación de residuos, que modifican la fertilidad del suelo (Wichern *et al.*, 2020). Meena, Vijayakumar, Yadav y Mitran (2018) señalaron que, en los sistemas de producción sostenible de soya, se espera en el futuro una mejor comprensión de la interacción de los efectos de la combinación *Bradyrhizobium* y HMA, que al optimizar las combinaciones de microorganismos se pueda aplicar de forma eficiente como inoculantes para la promoción del crecimiento y sanidad vegetal.

En leguminosas tales como el chícharo (*Pisum sativum* L.), la aplicación combinada de fertilizantes orgánicos e inorgánicos en combinación con la inoculación de biofertilizantes mejora las propiedades biológicas y bioquímicas del suelo (Kaur, Gosal y Walia, 2017). Kyei-Boahen, Savala, Chikoye y Abaidoo (2017) encontraron que la aplicación dual de inoculantes de rizobios con fertilizante mineral (P) en alubia (*Vigna*

unguiculata L.) tiene mayor eficiencia agronómica en comparación con cualquier inoculante o aplicado solo fósforo. La proporción N:P en la fórmula de fertilización mineral en combinación con los biofertilizantes (BF), tiene un efecto en la respuesta del cultivo, sobre todo en las leguminosas. En este contexto, los resultados esperados entre N:F+B, parten de la disponibilidad de P en el suelo y la eficacia en la absorción radicular, porque el uso de P estimularía el funcionamiento de la simbiosis en términos de nutrición con el N (Bargaz *et al.*, 2018).

El análisis económico en función al rendimiento de grano obtenido en los tratamientos, indicó que el manejo con la mayor rentabilidad fue mediante la inoculación conjunta de *B. japonicum* y *R. intraradices* (Cell-Tech + HMA INIFAP), tratamiento que tuvo un valor de 2.6 en beneficio-costos, con un incremento de 23% de rentabilidad, en comparación con la fertilización del paquete tecnológico o testigo (18-46-00). A valores actuales hubo un incremento en los insumos, en la fertilización fue del 6.8% (Cuadro 4). Salinas (2007) comparó la rentabilidad de la producción entre la inoculación micorrízica con la fertilización mineral durante un periodo de cinco años consecutivos, con los cultivos de sorgo, maíz y frijol, con y sin irrigación. En los tres cultivos y en ambas condiciones de humedad, el beneficio-costos fue mayor con la inoculación micorrízica. La combinación de Cell-Tech + HMA INIFAP es una opción, que tiene potencial para su validación en parcelas comerciales entre los productores de la región, porque disminuye la dependencia de la fertilización mineral.

Reganold y Wachter (2016) presentaron una revisión y análisis sobre las tendencias de la agricultura orgánica desde cuatro perspectivas; sustentabilidad, ambiental, productivo y económico. Los principales factores que determinan la rentabilidad de la agricultura orgánica incluyen el rendimiento de los cultivos, mano de obra y costos totales, primas de precios para productos orgánicos, potencial de ingresos reducidos durante el período de transición orgánica (generalmente tres años), y posibles ahorros de costos de la reducción dependencia de recursos no renovables e insumos adquiridos. La agricultura orgánica demuestra ser significativamente más rentable (22 a 35% valores actuales netos), con relación de beneficio-costos más alto (20 a 24%), que la agricultura convencional.

Cuadro 4. Análisis de rentabilidad, relación beneficio-costo, según la producción de grano de soya obtenida con fertilización biológica y mineral reducida.**Table 4. Profitability analysis, benefit-cost ratio, according to grain production of soybean obtained with biological and reduced mineral fertilization.**

Concepto	Tratamiento					
	HMA Biogea + 50% FQ	HMA INIFAP + 50% FQ	HMA Biogea + Gallinaza + 50% FQ	HMA Biogea + Yeso + 50% FQ	100% FQ 18-46-00 (testigo)	Cell-Tech + HMA INIFAP
Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	2.96	3.36	3.06	2.92	3.11	3.31
Costo de producción (\$)	8518.6	8479.2	10 416.5	9425.7	8793.3	7445.0
Ingreso total (\$)	17 302.2	19 650.5	17 845.5	17 051.0	18 172.6	19 335.0
Ganancia neta (\$)	8783.6	11 171.3	7429.0	7625.3	9379.3	11 890.0
Beneficio-costo	2.0	2.3	1.7	1.80	2.1	2.6

HMA = hongos micorrízicos arbusculares; FQ = fertilización química. Precio del producto (\$ t⁻¹): 5841.4.
 HMA = arbuscular mycorrhizal fungi; FQ = chemical fertilization. Product price (\$ t⁻¹): 5841.4.

CONCLUSIONES

El contenido de clorofila de acuerdo al índice SPAD, la altura de planta, el rendimiento y el contenido de aceite y proteína del grano de soya, no fueron afectados con la combinación de fertilización biológica y mineral reducida. La inoculación conjunta de *B. japonicum* y *R. intraradices* (Cell-Tech + HMA INIFAP), demostró ser el manejo más eficiente y rentable, con una relación beneficio-costo de 2.6.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos generados o analizados durante el estudio actual no están disponibles públicamente debido [el autor principal se ha jubilado y se ha retirado de la actividad profesional] pero están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

Se agradece a patronato para la investigación, fomento y sanidad vegetal (PIFSV) en el norte de Tamaulipas.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: A.D.F. Metodología: A.D.F. y F.A.A. Análisis formal: F.E.O.C. y M.E.C.L. Investigación: A.D.F. y F.E.O.C. Curación de datos: M.E.R. Escritura: preparación del borrador original: A.D.F. y M.E.C.L. Escritura: revisión y edición: F.A.A. Administración del proyecto: A.D.F.

AGRADECIMIENTOS

A los ayudantes de investigación en especial Sr. Juan Olvera del Campo Experimental Río Bravo Tamaulipas.

LITERATURA CITADA

- Adesemoye, A. O., & Kloepper, J. W. (2009). Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0>
- Babalola, O. A., Atayese, M. O., & Soyoye, T. (2009). Influence of *Bradyrhizobium* and two *Glomus* species on the growth and yield of soybean. *Journal of Agricultural Science and Environment*, 9(2), 79-95. <https://doi.org/10.51406/jagse.v9i2.1102>
- Bargaz, A., Lyamlouli, K., Chtouki, M., Zeroual, Y., & Dhiba, D. (2018). Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1606. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01606>
- Beltrano, J., Ruscitti, M., Arango, M. C., & Ronco, M. (2013). Effects of arbuscular mycorrhiza inoculation on plant growth, biological and physiological parameters and mineral nutrition in pepper grown under different salinity and p levels. *Journal Soil Science Plant Nutrition*, 13(1), 123-141. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000012>
- Bouajila, K., & Sanaa, M. (2011). Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2, 485-490.
- Burton, C. H. (2007). The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure. *Livestock Science*, 112(3), 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.004>
- Carvajal M., J. S., & Mera B., A. C. (2010). Fertilización biológica: técnica de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 5(2), 77-96.
- Cassán, F., Perrig, D., Sgroy, V., Masciarelli, O., Penna, C., & Luna, V. (2009). *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays*, L.) and soybean (*Glycine max*, L.). *European Journal of Soil Biology*, 45(1), 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.08.005>
- Clemente, T. E., & Cahoon, E. B. (2009). Soybean oil: Genetic approaches for modification of functionality and total content. *Plant Physiology*, 151(3), 1030-1040. <https://doi.org/10.1104/pp.109.146282>
- Costa-Neto, P. R., Balparada-Caro, M. S., Mazzuco, L. M., & Nascimento, M. G. (2004). Quantification of soybean oil ethanolysis with ¹H NMR. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81(12), 1111-1114. <https://doi.org/10.1007/s11746-004-1026-0>
- de Mello-Filho, O. L., Sigueyuki Sedyama, C., Alves Moreira, M., Silva Reis, M., Massoni, G. A., & Piovesan, N. D. (2004). Grain yield and seed quality of soybean selected for high protein content. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(5), 445-450. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000500006>
- Díaz-Franco, A., Gálvez-López, D., & Ortiz-Cháirez, F. E. (2015). Bioinoculación y fertilización química reducida asociados con el crecimiento de planta y productividad de sorgo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3), 245-252.
- Díaz-Moreno, R., Díaz-Franco, A., Garza-Cano, I., & Ramírez-De León, A. (2007). Brassinoesteroides e inoculación con *Glomus intraradices* en el crecimiento y producción de sorgo en campo. *Terra Latinoamericana*, 25(1), 77-83.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) (2020). *Soya. TMF. Tamaulipas-PV-2020*. Consultado el 23 de abril, 2021, desde <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/BusquedaArch>
- García-Martínez, E., & Fernández-Segovia, I. (2012). *Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte*. Universidad Politécnica de Valencia. Consultado el 15 de noviembre, 2020, desde <http://hdl.handle.net/10251/16338>
- García-Fernández, F., Legarreta G., M., Serna H., J. A., & Wallace F., G. (2018, noviembre). *La producción de soya en México: modelo productivo y evolución reciente (1990-2016)*. Artículo presentado en la LIII Reunión Anual, Anales de la Asociación Argentina de Economía Política. Buenos Aires, Argentina. Consultado el 27 de marzo, 2021, desde <https://www.researchgate.net/publication/337757622>
- García-Rodríguez, J. C. (2017). Soya de temporal y riego para el sur de Tamaulipas, ciclo P-V. En J. C. García-Rodríguez (Ed.). *Agenda técnica agrícola de Tamaulipas* (pp. 92-105). Consultado el 15 de noviembre, 2020, desde https://www.researchgate.net/publication/325034209_Agenda_Tecnica_Agricola_Tamaulipas
- Hue, N. V., & Silva, J. A. (2000). Organic soil amendments for sustainable agriculture: Organic sources of nitrogen, phosphorus, and potassium. En J. A. Silva & R. Uchida (Eds.). *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture* (pp. 133-144). Honolulu, HI, USA: University of Hawaii at Manoa.
- Kaur, H., Gosal, S. K., & Walia, S. S. (2017). Synergistic effect of organic, inorganic and biofertilizers on soil microbial activities in rhizospheric soil of green pea. *Annual Research & Review in Biology*, 12(4), 1-11. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/32509>
- Kyei-Boahen, S., Savala, C. E. N., Chikoye, D., & Abaidoo, R. (2017). Growth and yield responses of cowpea to inoculation and phosphorus fertilization in different environments. *Frontiers in Plant Science*, 8, 646 (1-13). <http://doi.org/10.3389/fpls.2017.00646>
- Kumar, A., & Verma, J. P. (2019). The role of microbes to improve crop productivity and soil health. En V. Achal, & A. Mukherjee (Eds.). *Ecological wisdom inspired restoration engineering* (pp. 249-265). Singapore, Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0149-0_14. ISBN: 978-981-13-0149-0
- Lodeiro, A. R. (2015). Interrogantes en la tecnología de la inoculación de semillas de soja con *Bradyrhizobium* spp. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 261-273. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.06.006>
- Magallanes-Estala, A., Díaz-Franco, A., Reyes-Rosas, M. A., Rosales-Robles, E., Alvarado-Carillo, M., Silva-Serna, M., Bustamante-Dávila, A. J., & Cortinas-Escobar, H. M. (2014). *Tecnología de producción en soya [Glycine max (L.) Merrill] para el norte de Tamaulipas*. Folleto Técnico No. 58. Río Bravo, Tamaulipas, México: INIFAP/CIRNE. ISBN: 978-607-37-0247-8.

- Maldonado M., N., Ascencio L., G., & García R., J. C. (2017). Huasteca 600: variedad de soya para el sur de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1897-1904. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.713>
- Martínez, F., & Cordone, G. (2015). Impacto de la fertilización en soya sobre la calidad del grano. *IAH18*, 17-21. Consultado el 10 de septiembre, 2020, desde [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.sf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/\\$FILE/17.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.sf/0/09DD01D2BDADA9A503257E5E00008A33/$FILE/17.pdf)
- Meena, R. S., Vijayakumar, V., Yadav, G. S., & Mitran, T. (2018). Response and interaction of *Bradyrhizobium japonicum* and arbuscular mycorrhizal fungi in the soybean rhizosphere. *Plant Growth Regulation*, 84, 207-223. <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0334-8>
- Mejía-Méndez, G., & Castellano-Suárez, J. A. (2018). Costos de producción y rentabilidad del cultivo de la papa en Zacapoaxtla, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1651-1661. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1721>
- Nath, C. P., Das, T. K., Rana, K. S., Bhattacharyya, R., Pathak, H., Paul, S., Meena, M. C., & Singh, S. B. (2017). Weed and nitrogen management effects on weed infestation and crop productivity of wheat-mungbean sequence in conventional and conservation tillage practices. *Agricultural Research*, 6, 33-46. <https://doi.org/10.1007/s40003-017-0246-x>
- Ojeniyi, S. O., Amusan, O. A., & Adekiya, A. O. (2013). Effect of poultry manure on soil physical properties, nutrient uptake and yield of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) in Southwest Nigeria. *American-Eurasian Journal Agricultural & Environmental, Science*, 13(1), 121-125. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2013.13.01.1861>
- Rasoulzadeh, A., & Yaghoubi, A. (2010). Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 8(2), 976-979.
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2, 15221. <http://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>
- Retes-López, R., Moreno-Medina, S., Ibarra-Flores, F. A., Martín-Rivera, M. H., & Ibarra-Martín, F. A. (2018). Análisis de rentabilidad del garbanzo en Sonora, ciclos 2012-2013 al 2016-2017. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 43, 89-98.
- Salahin, N., Islam, M. S., Begum, R. A., Alam, M. K., & Hossain, K. M. F. (2011). Effect of tillage and integrated nutrient management on soil physical properties and yield under tomato-mungbean-T. aman cropping pattern. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 6(1), 58-62.
- Salinas-Cruz, E., Espinosa-Paz, N., Martínez-Sánchez, J., & Cadena-Iñiguez, P. (2017). Análisis competitivo de los cultivos de piña (*Annanas comosus* L.), maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Frailesca, Chiapas, México. *AgroProductividad*, 10(9), 101-105.
- Salinas G., J. R. (2007). Fertilización química y biológica en maíz, sorgo y frijol en riego y temporal. In SAGARPA-INIFAP (Eds.). *Publ. Especial No. 32* (pp. 23-24). CIRNE-México.
- Sánchez-Santillán, N., Binnquíst-Cervantes, G. S., & Garduño-López, R. (2018). Sequía intraestival en La Reserva de la Biosfera El Cielo y su entorno, Tamaulipas, México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27, 1-18. <https://doi.org/10.15446/rcdgv.27n1.56485>
- SAS Institute. (2014). SAS/SAT 9.3 user's guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Sharma, M. P., Singh, S., Sharma, S. K., Ramesh, A., & Bhatia, V. S. (2016). Co-inoculation of AM fungi and soybean rhizobia enhanced nodulation, yield, soil biological parameters and saved fertilizer inputs in vertisols under microcosm and field conditions. *Soybean Research*, 14(2), 39-53.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2020). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Consultado el 23 de abril, 2021, desde <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). New York, NY, USA: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012652840-4/50001-2>
- Trasviña B., A. M., Bórquez O., R., Leal A., J., Castro E., L., & Gutiérrez C., M. A. (2018). Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nogal en el Valle del Yaqui. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 85-90. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.310>
- Toledo, R. E. (2018). *Ecofisiología, rendimiento y calidad de soya*. Consultado el 10 de septiembre, 2020, desde <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/cereales/wp-content/uploads/sites/31/2018/07/Ecofisiologia-rendimiento-y-calidad-en-soja.pdf>
- Yaish, M. W., Al-Lawati, A., Jana, G. A., Yasuta Patankar, H., & Glick, B. R. (2016). Impact of soil salinity on the structure of the bacterial endophytic community identified from the roots of Caliph medic (*Medicago truncatula*). *PLoS ONE*, 11(7), e0159007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159007>
- Yasuta, Y., & Kokubun, M. (2014). Salinity tolerance of super-nodulating soybean genotype En-b0-1. *Plant Production Science*, 17(1), 32-40. <https://doi.org/10.1626/pp.17.32>
- Wichern, F., Islam, M. R., Hemkemeyer, M., Watson, C., & Joergensen, R. G. (2020). Organic amendments alleviate salinity effects on soil microorganisms and mineralisation processes in aerobic and anaerobic paddy rice soils. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(30), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00030>
- Zhang, H., Wu, X., Li, G., & Qin, P. (2011). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing fungus (*Mortierella* sp.) and their effects on *Kosteletzkya virginica* growth and enzyme activities of rhizosphere and bulk soils at different salinities. *Biology and Fertility of Soils*, 47, 543-554. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0563-3>
- Zilli, J. E., Campo, R. J., & Hungria, M. (2010). Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-secmeadura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(3), 335-337. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300015>