

Formación de nódulos en los cultivos de soya (*Glycine max* L.) y crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) en respuesta al uso de inoculantes

Nodule formation in soybean (*Glycine max* L.) and crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) crops in response to the use of inoculants

Yasmin Ileana Chew Madinaveitia^{1*}, Arturo Gaytán Mascorro², Esmeralda Ochoa Martínez¹, David Guadalupe Reta Sánchez³, Juan isidro Sánchez Duarte¹.

¹INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Blvd. José Santos Valdez 1200 Pte. Col. Centro. C.P. 27440, Matamoros, Coah. INIFAP.

²UAA Antonio Narro-Unidad Laguna. Departamento de Fitomejoramiento. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fé. Torreón, Coah.

³INIFAP-Campo Experimental Delicias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Delicias, Chih

*Autor de correspondencia: chew.yazmin@inifap.gob.mx

RESUMEN

Los sistemas de producción intensivos de forraje dependen de altas cantidades de energía aplicados en términos de agua, uso de maquinaria, fertilizantes inorgánicos; y otros componentes de manejo para tener buenos niveles de productividad, destacando el uso de fertilizantes. Los sistemas de producción de forrajes de la Comarca Lagunera se distinguen por no ser sustentables ni amigables con el medio ambiente. La fijación biológica de nitrógeno por la asociación leguminosas-Rhizobium, es una opción a la fertilización nitrogenada. El objetivo de este trabajo fue evaluar la formación de nódulos en los cultivos de soya y crotalaria con el uso de inoculantes a base de bacteria fijadoras de nitrógeno. Se realizó un ensayo con inoculantes específicos y fertilización nitrogenada en soya y crotalaria en un diseño de bloques al azar con un arreglo factorial de 2 x 2. Se registró el porcentaje de nódulos activos e inactivo en las etapas vegetativa, inicio de floración e inicio de llenado de vaina. Hubo interacción inoculación/fertilización X especie en la etapa vegetativa y en inicio de formación de vaina para nódulos activos. En floración el efecto de inóculo y especies evaluadas fueron independientes. En todas las fechas de muestreo, se tuvo mayor porcentaje de nódulos activos cuando se inoculó la semilla de soya y de crotalaria. Los inoculantes fueron efectivos en la formación de nódulos activos; consecuentemente, es de esperarse que ocurra fijación biológica de nitrógeno. La asociación inoculantes-leguminosas, pueden utilizarse para reducir la dependencia de los fertilizantes nitrogenados.

Palabras clave: Fijación biológica de nitrógeno, sustentabilidad, leguminosas.

ABSTRACT

Intensive forage production systems depend on high amounts of energy applied in terms of water, use of machinery, inorganic fertilizers; and other management components to have good levels of productivity, highlighting the use of fertilizers. The forage production systems of the Comarca Lagunera are distinguished by not being sustainable or environmentally friendly. Biological nitrogen fixation by legume-Rhizobium association is an option to nitrogen fertilization. The objective of this work was to evaluate the formation of nodules in soybean and crotalaria crops with the use of inoculants based on nitrogen-fixing bacteria. A trial was carried out with specific inoculants and nitrogen fertilization in soybean and crotalaria in a random block design with a 2 x 2 factorial arrangement. The percentage of active and inactive nodules was recorded in the vegetative, beginning of flowering and beginning of pod filling. There was an inoculation/fertilization X species interaction in the vegetative stage and at the beginning of pod formation for active nodules. In flowering, the



effect of inoculum and species evaluated were independent. On all sampling dates, there was a higher percentage of active nodules when soybean and crotalaria seeds were inoculated. The inoculants were effective in the formation of active nodules; consequently, biological nitrogen fixation is expected to occur. The inoculant-legume association can be used to reduce dependence on nitrogen fertilizers.

Keywords: Biological nitrogen fixation, sustainability, legumes.

INTRODUCCIÓN

La productividad de cultivos depende de factores que limitan el crecimiento y desarrollo de las plantas, encontrándose entre ellos, la nutrición del cultivo, especialmente el nitrógeno (N_2). Para cultivos de importancia en la producción de forrajes, un aspecto a considerar son las fuentes de fertilizante que se utilizan, ya que se requieren en cantidades que representan hasta un 20% del costo de producción de los cultivos, por ejemplo, en maíz forrajero en la Comarca Lagunera (FIRA, 2023). El precio de los fertilizantes (urea) ha tenido una tendencia a incrementarse a través del tiempo. En el año de 1960, la tonelada métrica tenía un precio de 42.25 dólares, y en octubre de 2023 de 411.38 dólares (World Bank, 2023). Además, el alto costo energético que se requiere para producir los fertilizantes nitrogenados es seis veces más, que el de los fertilizantes a base de fósforo o potasio (DaSilva et al., 1978) lo que justifica la búsqueda de opciones para contar con sistemas de producción sustentables en los sistemas agropecuarios. Para reducir la dependencia tecnológica de los fertilizantes, la fijación biológica del nitrógeno (FBN) es una opción económicamente importante en los cultivos, incluyendo los forrajeros. Actualmente se sabe que la fijación de nitrógeno puede ocurrir en plantas leguminosas y plantas no leguminosas; y dentro de cada grupo de plantas puede haber diferencias entre especies incluso entre cultivares de la misma especie (Ferrera-Cerrato et al., 1999; Santi et al., 2013).

La fijación de nitrógeno por plantas no leguminosas se puede realizar por tres vías: a través de la entrada de los rizobios en el parénquima del xilema; en estado libre en la rizosfera bajo una condición de poco oxígeno; y por hormonas que produce el rizobio y que inducen el crecimiento de la planta utilizando el nitrógeno que se libera (Santi et al., 2013).

Las leguminosas, son económicamente importantes por su calidad y aporte de proteína en la dieta de los rumiantes y de los humanos. Otro aspecto sobresaliente, es que mejoran la fertilidad del suelo, mediante la fijación biológica del nitrógeno (FBN). En

éste proceso intervienen bacterias (rizobios) que convierten el nitrógeno atmosférico elemental (N_2) en amonio (NH_4) aprovechable por las plantas. En las regiones áridas y semiáridas, con suelos pobres en materia orgánica y nutrientes, los fertilizantes inorgánicos se utilizan para incrementar su fertilidad, pero altas dosis, pueden contaminar el suelo, agua y áreas naturales. Se considera que las plantas aprovechan más del 50% de los fertilizantes nitrogenados, y el resto se pierde por escorrentía superficial y lixiviación. En esas áreas, las leguminosas son una opción para restaurar y rehabilitar suelos y disminuir la contaminación del suelo y agua por nitratos (Bianco, 2020; López-Alcocer et al., 2020). En la interacción leguminosas-bacterias, se forman nódulos en las raíces, donde se realiza la fijación de nitrógeno que puede variar de 24 a 584 kg N ha⁻¹ y en algunos casos, abastecer hasta el 90% de los requerimientos de las plantas (Ángeles-Núñez & Cruz-Acosta, 2015; López-Alcocer et al., 2020). En leguminosas, la fijación de nitrógeno se realiza con bacterias de rizobios que pertenecen a los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium* y *Sinorhizobium* que convierten el nitrógeno atmosférico elemental (N_2) en amonio (NH_4) bajo una condición de micro aerobiosis. La relación simbiótica entre bacterias fijadoras de nitrógeno y las raíces de las plantas leguminosas producen nódulos que fijan nitrógeno atmosférico mediante la acción de la enzima nitrogenasa. La fijación de nitrógeno atmosférico en leguminosas es un proceso que depende de los nutrientes y del medio ambiente quedando en una condición de ventaja con respecto a una planta que no fija nitrógeno. Además, el aporte de nitrógeno fijado por las especies leguminosas al suelo, se puede aprovechar en la rotación de cultivos, intercalando cultivos, o usando mezclas de cultivo (Fustec et al., 2010).

En la Comarca Lagunera, la producción de forraje para alimentación de ganado se fundamenta en cultivos de leguminosas como alfalfa (40,210 ha) (SIAP, 2023), y en plantas gramíneas como maíz (47,644.70 ha) y sorgo (24,835.54 ha) (SIAP, 2023). Los sistemas de producción intensivos de forraje en



la Comarca Lagunera se caracterizan por el empleo de altas cantidades de energía expresados en términos de agua, uso de maquinaria, fertilizantes inorgánicos; además de contar con suelos de baja fertilidad, que, por la misma situación de producción intensiva y del uso de recursos naturales como el agua, no representan una opción sustentable ni amigable con el medio ambiente. Lo anterior justifica la búsqueda de sistemas de producción alternativos (sustentables) que hagan un uso eficiente de recursos naturales para producir forraje, priorizando el uso de fuentes de nitrógeno con especies leguminosas para que puedan ser utilizadas por ellas mismas o por especies gramíneas. Para la fijación biológica de nitrógeno en sistemas comerciales se utilizan inoculantes para asegurar la asociación rizobio-cultivo; ésta asociación es específica para la especie de rizobio y el de la leguminosa. Si en el suelo no existe el rizobio, no se establece la simbiosis (Fernández-Pascual et al., 2002; Ferreira et al., 2022). El objetivo de este estudio fue evaluar la formación de nódulos en los cultivos de soya y crotalaria con el uso de inoculantes bajo las condiciones de suelo y clima de la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el INIFAP-Campo Experimental La laguna, en Matamoros, Coahuila (25° 32' latitud norte y 103° 14' longitud oeste). Para evaluar los inoculantes en los cultivos de soya (*Glycine max* variedad Nainari) y crotalaria (*Crotalaria juncea* cv. Común), se realizó un ensayo con semilla inoculada con rizobios y semilla sin inocular, pero con fertilización nitrogenada, que fueron establecidas en un lote, donde previamente fue sembrado triticale, para blanquear el terreno. En las parcelas con la semilla sin inocular, se fertilizó con Nitrógeno y Fósforo (250-80-00) con Novatec y ácido fosfórico, respectivamente. En las parcelas con semilla inoculada, solamente se aplicó ácido fosfórico (00-80-00). La siembra en húmedo, fue el 15 de mayo de 2023. Los riegos de auxilio fueron a los 17, 37, 57 y 73 días después de la siembra (dds).

Diseño experimental.

Bloques al azar con cuatro repeticiones, con los tratamientos distribuidos en un arreglo factorial 2X2; el factor A fue el tratamiento con inóculo de rizobios o

con fertilización nitrogenada, y el factor B, las especies crotalaria y soya.

Inoculación de las semillas.

Previo a la siembra, las semillas de soya fueron inoculadas con la bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, con la dosis de 141.8 g por cada 22.7 kg de semilla. Para crotalaria fue con un inoculante a base de tres bacterias *Bradyrhizobium* sp. (Vigna), *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* y *Rhizobium leguminosarum* biovar *viceae* (340 g por cada 22.68 kg de semilla).

Muestreo de raíces: Fueron realizados tres muestreos en las etapas fenológicas: vegetativa, inicio de floración e inicio de llenado de vaina. Para el muestreo, con una pala se hicieron zanjas alrededor de las plantas, teniendo cuidado de extraer la mayor cantidad de raíces; para retirar el exceso de tierra de las raíces, fueron lavadas con agua.

Evaluación de nódulos.

Los nódulos de las raíces, se observaron con un microscopio estereoscópico para determinar su forma y la capacidad de fijación de nitrógeno, en base a su coloración interna; los nódulos blancos o verdes, se consideran inactivos y los nódulos de coloración rosa o roja, como activos.

Análisis de datos.

Con los porcentajes de nódulos activos e inactivos, se realizó un análisis de varianza ($P \leq 0.05$). Previo al análisis, los datos se transformaron con el arcoseno de la raíz cuadrada, para que la varianza se constante. El análisis estadístico fue realizado con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el primer muestreo de raíces (fase vegetativa), hubo diferencias altamente significativas en los niveles del factor A (inoculación-fertilización), y diferencias significativas para el factor B (especies) y para la interacción AxB. Durante la fase vegetativa el porcentaje de nódulos activos superó al porcentaje de nódulos inactivos por efecto de la aplicación de inóculo, y no fue independiente de la especie, es decir, tanto en soya como en crotalaria se tuvo un mayor porcentaje de nódulos activos. Las diferencias entre nódulos activos e inactivos fueron del 51% a favor de la aplicación de inóculo; y del 41% más de



nódulos activos para soya y 11% para crotalaria (Cuadro 1).

La interacción Inoculo X especies indica que el efecto de los factores no fue independiente y que el porcentaje de nódulos depende tanto de la aplicación de inoculo o fertilización, como de la especie. En este muestreo solo hubo formación de nódulos activos e inactivos cuando se inoculó la semilla. En el tratamiento de fertilización inorgánica no hubo formación de nódulos (Cuadro 1).

En el muestreo de raíces realizado a inicio de floración en cada especie, el análisis estadístico indicó diferencias altamente significativas solamente entre niveles de A (semilla inoculada o fertilización nitrogenada). En esta etapa fenológica, se

Cuadro 1. Porcentaje de nódulos activos e inactivos en diferentes etapas fenológicas de los cultivos de soya y crotalaria con inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno o con fertilización nitrogenada.

	Inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno o con fertilización nitrogenada.					
	VEGETATIVA		INICIO FLORACIÓN		INICIO LLENADO DE VAINA	
	NÓDULOS					
	ACTIVOS	INACTIVOS	ACTIVOS	INACTIVOS	ACTIVOS	INACTIVOS
Inoculación	75.87a ¹	24.12a	87.67a	12.34a	73.66a	26.34a
Fertilización	0.0b	0.0b	1.92b	10.58a	17.78b	44.71a
Soya	45.41a	4.58b	45.05a	4.96a	41.13a	21.36a
Crotalaria	30.46b	19.53a	44.55a	17.95a	50.31a	49.69a
A	**	**	**	ns	**	ns
B	*	*	ns	ns	ns	ns
AxB	*	*	ns	ns	*	ns
CV	15.3	26.6	8.9	94.5	24.6	41.24

¹Medias seguidas con distinta letra en cada columna son significativamente diferentes (Tukey ≤ 0.05). A=Tratamiento: Inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno-fertilización nitrogenada. B=Especies: soya-crotalaria: AxB=Interacción de tratamiento x especie. CV=Coeficiente de variación.

Con la inoculación de la semilla con los rizobios, se tuvo un mayor porcentaje de nódulos activos en las tres fases fenológicas en los cultivos de soya y crotalaria. Esto indica que hubo un reconocimiento entre las bacterias de los inoculantes utilizados y la rizoosfera de los dos cultivos, lo que promovió la formación de los nódulos. Aunque solo en las fases vegetativa y de inicio de llenado de vaina, se tuvo una interacción tratamiento X especie (Cuadros 1 y 2).

Referente al porcentaje de nódulos activos por especie, la respuesta fue como sigue: en fase vegetativa, la soya tuvo un 90% de nódulos activos, un 33% más de nódulos formados que crotalaria. En inicio de floración no hubo diferencias estadísticas en

observaron nódulos activos e inactivos en el tratamiento de fertilización nitrogenada (semilla sin inocular) (Cuadro 1).

El porcentaje de nódulos activos en la etapa de inicio de formación de vainas fue altamente significativo entre niveles de A y significativa para la interacción Inoculo x especie (Cuadro 1). No hubo diferencias a ningún nivel en este muestreo para el porcentaje de nódulos inactivos, en ninguno de los factores de evaluación.

nódulos formados entre soya y crotalaria, promediando un 87% de nódulos activos. En la fase de inicio de crecimiento de vainas se tuvo la misma respuesta estadística para la formación de nódulos entre especies que en inicio de floración.

El cultivo de crotalaria destacó por un mayor número de nódulos inactivos con respecto a la soya (Cuadro 2). Pommeresche y Hansen (2017) mencionan que en la etapa de floración es cuando se tiene la máxima actividad en la fijación de nitrógeno. En este estudio, el mayor porcentaje de nódulos activos se tuvo en la etapa de floración cuando fue inoculada la semilla con bacterias fijadoras de nitrógeno (Cuadro 1).



Cuadro 2. Porcentaje de nódulos (activos e inactivos) con la aplicación de inoculantes a base de bacterias fijadoras de nitrógeno o fertilización nitrogenada por etapa fenológica, en los cultivos de soya y crotalaria.

TRATAMIENTO	VEGETATIVA		INICIO FLORACIÓN		INICIO LLENADO VAINA	
	SOYA	CROTALARIA	SOYA	CROTALARIA	SOYA	CROTALARIA
NODULOS ACTIVOS						
Inoculación	90.8Aa ¹	60.9Ab	90.1Aa	85.2Aa	82.27Aa	65.0Aa
Fertilización	0.0Ba	0.0Ba	0.0Ba	3.85Ba	0.0Bb	35.6Ba
NÓDULOS INACTIVO						
Inoculación	9.2Ab	39.0Aa	9.9Aa	14.75Aa	17.72Aa	34.95Aa
Fertilización	0.0Aa	0.0Ba	0.0Aa	21.2Aa	25.0Aa	64.4Aa

¹Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey ≤ 0.05); letras mayúsculas en cada columna, son para comparar entre tratamientos de inoculación-fertilización de nódulos activos y de nódulos inactivos; letras minúsculas entre hileras, son para comparar medias de nódulos activos entre especies y medias de nódulos inactivos entre especies.

Con fertilización nitrogenada (sin semilla inoculada), en soya se formaron nódulos en la fase de inicio de llenado de vaina, pero fueron nódulos inactivos. En crotalaria también hubo formación de nódulos en las etapas de floración e inicio de vaina; sin embargo, el mayor porcentaje correspondió a nódulos inactivos, lo cual indica la actividad de cepas nativas de rizobios en el suelo (Cuadro 2).

Tratamiento de inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno y fertilización nitrogenada.

El inóculo de semilla de soya y de crotalaria con la bacteria *Bradyrhizobium japonicum*, fue efectivo para la formación de nódulos en sus raíces. Se tuvo un mayor porcentaje de nódulos activos al aplicar inoculante. Resultados similares han sido reportados por Ferreira et al (2022) al aislar *Bradyrhizobium* de raíces de plantas de soya de semillas inoculadas; estos mismos autores mencionan que en suelos sin la adición de inoculantes, no hubo formación de nódulos. Incrementos en altura de planta, peso del vástago, peso fresco y seco de la raíz, y masa vegetativa, han sido logrados con la aplicación de biofertilizantes y con *Bradyrhizobium* en soya; esto, sin la adición de fertilizante orgánicos o sintéticos (Soto y Álvarez, 2021). En el presente ensayo, el porcentaje de nódulos activos, considerados así por su coloración interna roja, como efecto de la actividad de la leghemoglobina (Mahmud et al., 2020), fue mayor en inicio de floración (87.67%); en la fase vegetativa y en inicio de llenado de vaina, los porcentajes de nódulos activos fueron similares 75.87 y 73.66%, respectivamente. Factores como exceso o falta de agua, temperatura, humedad y acidez del suelo afectan la fijación biológica del nitrógeno en la simbiosis Rhizobium-leguminosas (Fernández-

Pascual et al., 2002). Otro aspecto a considerar, son las cepas de Rhizobium nativas, que compiten con las introducidas en los inoculantes. Estas cepas forman nódulos, pero son menos efectivas en la fijación biológica del nitrógeno (Loreido, 2015). Los nódulos activos y su capacidad de fijar nitrógeno, no es estable en el ciclo de cultivo, al tener un período de vida determinado, que inicia con la lisis de los tejidos y posterior muerte del nódulo. Éste proceso se conoce como senescencia nodular e intervienen alteraciones fisiológicas, bioquímicas y estructurales en el nódulo, o por estrés en las plantas (Fernández-Luqueño y Espinoza-Victoria, 2008).

Con fertilización nitrogenada también hubo formación de nódulos tanto en soya como en crotalaria. En soya, la formación de nódulos se presentó al inicio de llenado de vainas, encontrando solo nódulos inactivos. En crotalaria, la formación de nódulos ocurrió en la floración e inicio de llenado de vainas encontrándose tanto nódulos activos como inactivos, pero en mayor porcentaje de éstos últimos. La formación de nódulos sin la adición de inoculantes (fertilizante nitrogenado), puede deberse a la presencia de cepas de Rhizobium nativos específicos para soya y para crotalaria, pero que no igualaron los porcentajes de nódulos activos con el uso de inoculantes en ambos cultivos. Ferrera-Cerrato, (1999); y López-Alcocer et al., (2020) reportan que bajo condiciones de suelo y clima de una región, se pueden seleccionar cepas nativas de Rhizobium por su capacidad para fijar nitrógeno.

Cultivos de soya y crotalaria:

El cultivo de soya se adapta a las condiciones de la Comarca Lagunera, Reta et al (2008) todavía no se puede viajar en el tiempo reportan un rendimiento de



materia seca de 7,873 a 11,654 kg ha⁻¹ y un ciclo de 90 a 107 días, por lo que es una opción viable como forraje y para fijar nitrógeno atmosférico. En relación a crotalaria, se utiliza como abono verde para mejorar la fertilidad del suelo y por su aporte de nitrógeno en el suelo. En Tabasco, se han reportado rendimientos de materia seca de crotalaria de 7.08 y 7.16 t ha⁻¹, cuando se cosechó a los 40 y 60 días, respectivamente, con aportes de nitrógeno al suelo de 151.61 y 173.37 kg ha⁻¹ respectivamente (Almeida-Santos et al., 2019).

Las leguminosas por su relación con *Rhizobium* y su capacidad de fijar biológicamente el nitrógeno, se pueden considerar en los patrones de cultivo para mejorar la estructura del suelo y prescindir, aunque no sea en su totalidad de la fertilización nitrogenada; por ejemplo, con una combinación de fertilización intermedia más semilla tratada con inoculantes, se tuvo un incremento en el rendimiento en el cultivo del frijol al utilizar solo inoculantes. Con la dosis de fertilización completa, se tiene el mejor rendimiento, pero su costo es mayor comparado con el inoculante o con el tratamiento combinado (Acuña et al., 2001).

CONCLUSIONES

La formación de nódulos activos en soya y en crotalaria indican que hubo simbiosis inoculante-cultivo para la fijación biológica de nitrógeno. El uso de inoculantes en especies forrajeras pueden ser una opción para disminuir la dependencia de fertilizantes nitrogenados y crear nuevos modelos de producción sustentables y amigables con el medio ambiente. La formación de nódulos activos en especies leguminosas forrajeras depende de la cepa fijadora de nitrógeno y del cultivo que se vaya a utilizar.

LITERATURA CITADA

- Acuña O., Rodríguez, E., Llano, A., Calderón, V.R., Flores, G., Viana, A., y Lápiz, R. 2001. Validación técnica de inoculantes en frijol con cepas de *rhizobium* eficientes en fijación de nitrógeno en Centroamérica. *Agronomía Mesoamericana* 12(1):25-32.
- Ángeles-Núñez, J.C. and Cruz-Acosta, T. 2015. Aislamiento, caracterización molecular y evaluación de cepas fijadoras de nitrógeno en la promoción del crecimiento de frijol.

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6:929-942.

- Bianco, L. 2020. Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *IDESIA*. 389(2):21-29.
- DaSilva, J.G., Serra, G.E., Moreira, J.R., Gonçalves, J.C., Goldemberg, J. 1978. Energy Balance for Ethyl Alcohol Production from Crops. *Science* 201:903–906.
- Fernández-Luqueño, F., y Espinoza-Victoria, D. 2008. Bioquímica, fisiología y morfología de la senescencia nodular: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 26:133-144.
- Fernández-Pascual, M., De María, N., y De Felipe, M.R. 2002. Fijación biológica de nitrógeno: factores limitantes. *Ciencia y Medio Ambiente – CCMA-CSIC*. 195-202.
- Ferreira, LM., Arenas, M.R., Caballero, P.C., Samudio, O.A., Mussi, C, E., y Nakaya, H, D. 2022. Aislamiento y caracterización morfológica de bacterias del género *Bradyrhizobium* provenientes de parcelas agrícolas de la localidad de Loma Plata, Boquerón-Paraguay. *Rev. Soc. cient. Parag.* 2022;27(1):5-17.
<https://doi.org/10.32480/rscp.2022.27.1.5>
- Ferrera-Cerrato, R., Almaraz, J. J., Rodríguez, M. N., y Espinosa, D.1990. Fijación simbiótica de nitrógeno en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Terra* 8: 35-70.
- FIRA (Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura). 2023. Agrocosto. Costos de producción.
<http://www.fira.gob.mx/InEspDtoXML/TemasUsuarios.jsp>
- Fustec, J., Lesueur, F., Mahieu, S., Cliquet, J.-B. 2010. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30:57–66.
- López-Alcocer, J.J., Lépiz-Idelfonso, R., González-Eguiarte, D.R., Rodríguez-Macías, R., and López-Alcocer, E. 2020. Eficiencia en fijación biológica de nitrógeno de cepas de *Rhizobium* spp. recolectadas en frijol cultivado y silvestre. *Terra Latinoamericana* 38:841-852.
- Mahmud, K., Makaju, S., Ibrahim, R., and Missaoui, A. 2020. Current progress in nitrogen fixation plants and microbiome research. *Plants* 9(97):1-17.
- Pommeresche, R. and Hansen, S. 2017. Examinando la actividad de los nódulos en raíces de



- leguminosas. FertilCrop. Documento técnico. 5 p. <http://www.fertilcrop.net>
- Reta, S.D.G., Serrato, C.J.S., Figueroa, V.R., Cueto, W.J.A., Berúmen, P.S., y Santamaría, C.J. 2008. Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Libro Técnico Núm. 3. 268 p.
- Santi, C., Bogusz, D., and Franche, C. 2013. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Ann. Bot.* 111: 743–767.
- SAS Institute. 2011. The SAS system for windows, release 9.3. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Acciones y Programas. Cierre de la producción agrícola. Gobierno de México. http://www.nube.siap.gob.mx/avance_agricola
- Soto, V.J., Catuto, S.A., y Álvarez, V.M. 2021. Evaluación del crecimiento y nodulación de plantas de soya (*Glycine max*) inoculadas con *Rhizobium* y *Bradyrhizobium japonicum* en Manglaralto, Santa Elena (Ecuador). *Revista Científica y Tecnológica UPSE* 8(2):27-32.
- World Bank. 2023. World bank commodity price data. www.worldbank.org/en/research/commodity-markets