

Crecimiento y desarrollo de tres leguminosas con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno en Delicias, Chihuahua

Growth and development of three legumes with nitrogen fertilization and inoculated with nitrogen-fixing bacteria in Delicias, Chihuahua

Reta-Sánchez, David Guadalupe^{1*}, Ochoa-Martínez, Esmeralda², Chew-Madinaveitia, Yasmin Ileana², Sánchez-Duarte, Juan Isidro² y Reyes-González, Arturo².

¹Campo Experimental Delicias, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua, México.

²Campo Experimental La Laguna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia: reta.david@inifap.gob.mx

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el crecimiento y desarrollo de tres leguminosas con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno durante el ciclo primavera-verano en Delicias, Chihuahua. Se evaluaron las especies soya (*Glycine max* L.), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y lablab (*Lablab purpureus* L.), cada una con un tratamiento de fertilización nitrogenada y otro sin nitrógeno, pero con la semilla tratada con inoculantes bacterianos específicos. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en un arreglo factorial 3 x 2. Durante el ciclo se midió altura de planta, índice de área foliar (IAF), intercepción de radiación solar (IRS), duración de área foliar (DAF), y rendimiento de materia seca (MS). La soya y la crotalaria presentaron nodulación efectiva para la fijación de nitrógeno atmosférico, mientras que el lablab no respondió a la inoculación. La soya produjo el más alto rendimiento de MS debido a su mayor y más temprana intercepción de radiación solar (97.4%), que resultó de los valores más altos de IAF (6.4) y DAF (196.5 m² d⁻¹) tanto en los tratamientos fertilizados como inoculados. La crotalaria y el lablab no alcanzaron la cobertura total del suelo, con valores de IRS máximos de 62.4 a 74.6%, por lo que sus rendimientos de MS fueron inferiores al de la soya. La soya presentó mejor adaptación que crotalaria y lablab debido a su mayor capacidad de utilización de radiación solar para la producción de materia seca.

Palabras clave: cultivos alternativos, nodulación, índice de área foliar, radiación solar, rendimiento.

SUMMARY

The objective of the study was to determine the growth and development of three legumes with nitrogen fertilization and inoculated with nitrogen-fixing bacteria during the spring-summer cycle in Delicias, Chihuahua. Soybean (*Glycine max* L.), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) and lablab (*Lablab purpureus* L.) species were evaluated, each with a nitrogen fertilization treatment and another without nitrogen, but with the seed treated with specific bacterial inoculants. A randomized complete block experimental design was used with four replications, in a 3 x 2 factorial arrangement. During the cycle, plant height, leaf area index (LAI), solar radiation interception (SRI), leaf area duration foliar (DAF), and dry matter (DM) yield were measured. Soybean and crotalaria presented effective nodulation for atmospheric nitrogen fixation, while lablab did not respond to inoculation. Soybean produced the highest DM yield due to its higher and earlier interception of solar radiation (97.4%), which resulted from the highest values of IAF (6.4) and DAF (196.5 m² d⁻¹) in both fertilized and inoculated treatments. Crotalaria and lablab did not reach full soil cover, with maximum IRS values of 62.4 to 74.6%, so their DM yields were lower than that of soybean. Soybean presented better adaptation than crotalaria and lablab due to its greater capacity to use solar radiation for the production of dry matter.

Key words: alternative crops, nodulation, leaf area index, solar radiation, yield.



INTRODUCCIÓN

En la región centro-sur de Chihuahua la producción agrícola es de gran importancia socioeconómica. En 2023 se cosecharon alrededor de 34,600 hectáreas de cultivos anuales bajo irrigación durante los ciclos de primavera y verano. En cultivos perennes se cosecharon 41,414 hectáreas de alfalfa y 34,260 hectáreas de nogal. Los principales cultivos anuales fueron maíz forrajero, chile verde, algodón y cebolla, los cuales ocuparon el 93% de la superficie total (SIAP, 2023), lo cual indica muy poca diversidad de especies en un sistema de producción intensivo con cortos periodos de descanso del suelo, y la utilización masiva de agroquímicos y maquinaria para aumentar rendimientos. Bajo estas condiciones, la degradación del suelo es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible de los terrenos agrícolas (Kopittke *et al.*, 2019).

En la conservación de la calidad del suelo, es importante explorar alternativas como la incorporación de especies leguminosas en los sistemas de producción. Con esta estrategia el nitrógeno fijado biológicamente que queda en el suelo después de cosechar la leguminosa puede ser utilizado para reemplazar parte del nitrógeno requerido por el siguiente cultivo (Lötjonen y Ollikainen, 2017). Los cultivos de leguminosas pueden fijar del 50 al 80% de su requerimiento total de nitrógeno (Palmero *et al.*, 2022). La rotación con leguminosas también favorece en un menor uso de agroquímicos para la protección de cultivos, ya que, al diversificar las secuencias de cultivos, se reduce la incidencia de patógenos, plagas y un mayor control de maleza (Negash *et al.*, 2018).

Los beneficios de las leguminosas en la rotación de cultivos varían de acuerdo con las condiciones climáticas y edáficas de cada región. Por ello, la selección e integración de las leguminosas en los sistemas de producción debe ser específica para cada región. En el norte-centro de México, la soya y el lablab han mostrado buena adaptación en evaluaciones realizadas en la Comarca Lagunera, con rendimientos de MS en soya de 7,873 a 11,654 kg ha⁻¹ y un ciclo de 90 a 107 días; mientras que lablab con un ciclo de 93 a 108 días produjo de 6,132 a 15,578 kg ha⁻¹ de MS (Reta *et al.*, 2008). En Delicias, Chihuahua, Orozco *et al.* (2015) reportan rendimientos de MS en variedades de soya de 9,500 a 13,500 kg ha⁻¹, con ciclos de crecimiento de 110 días. En estos trabajos la soya fue fertilizada con nitrógeno mineral y

no se estudió la capacidad de nodulación en respuesta a inoculación con bacteria fijadoras de nitrógeno, por lo que es importante obtener información al respecto. Otra leguminosa con potencial de adaptación para la región es *Crotalaria juncea*. Esta especie produce rendimiento de MS de 1,495 a 4,000 kg ha⁻¹ en 60-90 días (Dzvene *et al.*, 2022), tiene una alta habilidad para fijar nitrógeno atmosférico (Chee y Chen, 1992), y además contribuye en el control biológico de nemátodos (Thaha, 2016).

La introducción de especies alternativas leguminosas en un sistema de producción agrícola requiere información de su crecimiento, desarrollo y potencial de producción de MS bajo las condiciones ambientales de la región de interés, así como la respuesta de los cultivos a la inoculación de la semilla con bacterias fijadoras de N específicas para cada especie. El objetivo del presente estudio fue determinar el crecimiento y desarrollo de tres leguminosas con fertilización nitrogenada e inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno durante el ciclo primavera-verano en Delicias, Chihuahua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del experimento.

El estudio se realizó en el Campo Experimental Delicias del INIFAP, localizado en Delicias, Chihuahua a 28° 11' latitud norte y 105° 30' longitud oeste, con una altitud de 1178 m. La textura del suelo es franco arenoso en el estrato 0-30 cm y franco arcilloso arenoso en 30-60 cm. La preparación del terreno que consistió en subsoleo, arado, rastreo, nivelación y surcado a 0.65 m se realizó entre el 21 de abril y 15 de mayo de 2023. El riego de pre-siembra se aplicó el 21 de mayo de 2023.

Los tratamientos en evaluación fueron tres especies de leguminosas, cada una con un tratamiento de fertilización nitrogenada y otro sin nitrógeno, pero con la semilla tratada con inoculantes bacterianos específicos para cada especie. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con una distribución de tratamientos en factorial 3 x 2, donde el factor A fueron las especies y el factor B, los tratamientos de fertilización. Las especies fueron soya (*Glycine max* L.), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y Lablab (*Lablab purpureus* L.). La semilla de soya se inoculó con *Bradyrhizobium*



japonicum en dosis de 141.8 g de inoculante para 22.7 kg de semilla. Las semillas de lablab y crotalaria se trataron con un inoculante que contiene *Rhizobium leguminosarum* biovar viceae, *Bradyrhizobium* sp y *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli, con dosis de 340 g para 22.68 kg de semilla.

La siembra se realizó en suelo húmedo el 1 de junio de 2023 en surcos a 0.65 m, con una densidad de siembra en crotalaria de 100 semillas/m² y 64 semillas/m² en lablab y soya. Las variedades fueron soya “Nainari”, lablab “cv. Sustain LS” y crotalaria “cv común”. Durante la siembra, en todos los tratamientos se fertilizó con 80 kg de P₂O₅ utilizando ácido fosfórico; mientras que en los tratamientos con fertilización nitrogenada se aplicaron 250 kg N ha⁻¹ con Novatec 45. Para evitar deficiencias de Fe se aplicó quelato “Ultraferro 6%” en dosis de 10 kg ha⁻¹ en todas las parcelas experimentales.

Manejo agronómico.

Se aplicaron cuatro riegos de auxilio a los 17, 32, 54 y 71 días después de la siembra (dds). Para el control de plagas se realizaron tres aplicaciones de insecticidas. La primera se realizó a los 23 dds con “Muralla max 300 (Imidacloprid + Betacyflutrin)” en dosis de 0.3 L ha⁻¹ para el control de pulgón y trips; la segunda aplicación fue de insecticida granulado “Controla 5G (Clorpirifos)” para el control de gusano trozador a los 41 dds; y la tercera aplicación se realizó con “Confidor (Imidacloprid)” a los 67 dds, en dosis de 1 L/ha para el control de mosquita blanca.

Datos obtenidos

Para determinar el crecimiento y desarrollo de los cultivos, semanalmente se obtuvieron datos de altura de planta, IAF, IRS y el desarrollo fenológico en todas las parcelas del experimento. Los datos de IAF e IRS se obtuvieron con un ceptómetro AccuPAR modelo Lp-80 PAR/LAI (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA). Se tomaron tres lecturas por parcela entre las 1200 y 1400 h tiempo solar. Se realizaron tres mediciones arriba y otras tres abajo del dosel, en forma paralela a la superficie del suelo. El sensor se colocó a un ángulo de 45° respecto a los surcos. La IRS se calculó con la siguiente fórmula:

$$100 - (((\text{Larr}-\text{Lab}) \times 100)) / 1000)$$

donde Larr = radiación solar fotosintéticamente activa (RSFA) recibida arriba del dosel; Lab = RSFA recibida abajo del dosel.

La duración de área foliar (IAF) se determinó con la siguiente fórmula:

$((\text{IAF2} + \text{IAF1}) * (\text{T2} - \text{T1})) / 2$, donde IAF2 = IAF máxima de cada especie; IAF1 = IAF inicial durante el ciclo; T2 = dds a IAF máxima en cada especie; T1 = dds a IAF inicial en cada especie.

Adicionalmente, cada semana se midió la altura de cinco plantas al azar en cada parcela experimental. Para verificar la nodulación en las especies se realizaron tres muestreos de raíces para el conteo de nódulos a los 31, 61 y 106 dds. La crotalaria se cosechó a los 69 dds, mientras que la soya y el lablab se cosecharon a los 102 y 104 dds, respectivamente. En la cosecha de cada cultivo se obtuvo el rendimiento fresco y el rendimiento de materia seca (MS). El contenido de MS y el rendimiento fresco se determinó con una muestra de 0.97 m² tomada al azar en la parte central de cada parcela experimental. Las muestras de plantas fueron secadas a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante. El rendimiento de MS se determinó multiplicando la producción de forraje fresco por el contenido de MS de cada parcela.

Se realizaron análisis de varianza ($P \leq 0.05$) para las siguientes variables: altura de planta final, IAF máxima, IRS máxima y DAF. Para comparar las medias se utilizó la prueba de tukey ($P \leq 0.05$). Se hicieron análisis de regresión lineal simple ($P \leq 0.05$) para determinar la relación entre el IAF y la intercepción de radiación solar con el rendimiento de MS. El análisis de la información se efectuó con el programa estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología y crecimiento.

El desarrollo fenológico de cada especie fue similar en los tratamientos con fertilización nitrogenada e inoculados. La especie con mayor precocidad fue la crotalaria con un periodo de crecimiento vegetativo corto de 35 días, y de 34 días de crecimiento de órganos reproductivos, durante el cual se desarrollaron ramas y ocurrió la formación y crecimiento de vainas. La primera rama en las plantas se desarrolló en promedio en el nudo 42 del tallo principal (Cuadro 1). El crecimiento rápido en altura de planta ocurrió a partir de los 29 dds, superando ampliamente al observado en soya y lablab (Figura 1).



La cosecha de crotalaria se realizó a los 69 dds, cuando las plantas presentaron las últimas flores abiertas en los extremos de ramas y tallo principal, y

las vainas aún verdes contenían semillas verdes en crecimiento.

Cuadro 1. Días después de la siembra (dds) a varias etapas fenológicas de tres especies de leguminosas.

Especie	dds a etapas fenológicas					
	10 hojas ¹	15 hojas	Inicio floración	Inicio crecimiento vainas	Llenado vainas	Cosecha
Soya	29	44	54	70	85	102
Crotalaria	12	24	44	49	57	69
Lablab	29	44	-	-	-	104

¹Número de nudos en tallo principal; inicio floración = primera flores en plantas; inicio crecimiento vainas = vainas 1-2 cm de longitud; Llenado de vainas = crecimiento semillas.

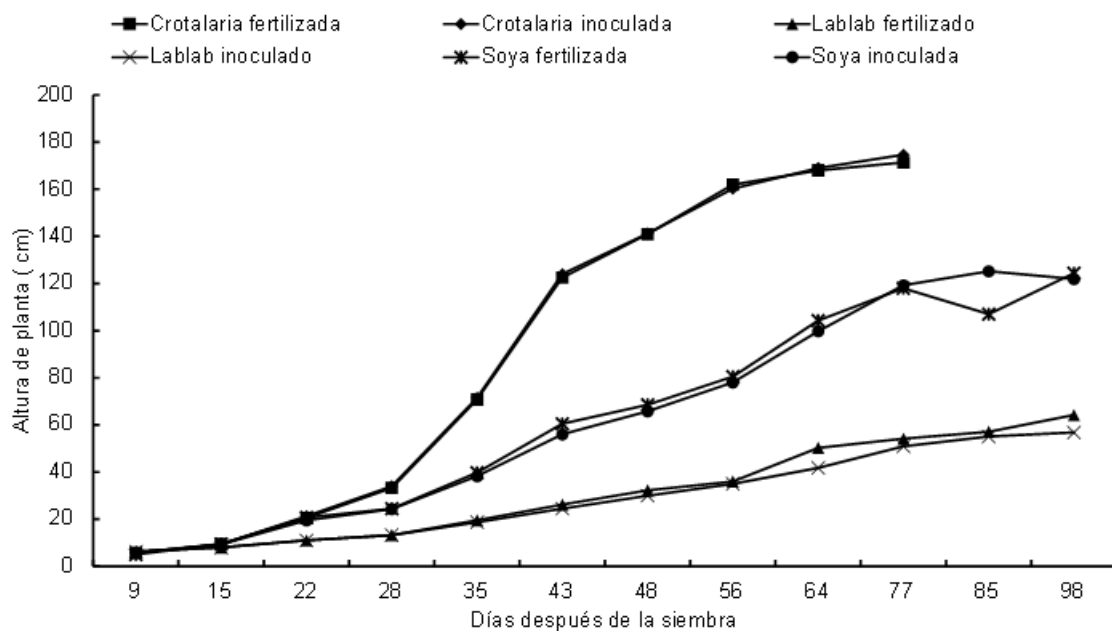


Figura 1. Altura de planta durante el ciclo de crecimiento de tres especies de leguminosas con fertilización nitrogenada y sin fertilización e inoculadas con bacterias fijadoras de N.

El comportamiento en altura de planta final y durante el ciclo de crecimiento fue similar entre tratamientos con fertilización e inoculados en los tres cultivos (Figura 1). Sólo se observó diferencia estadística entre especies en altura de planta máxima, con un mayor valor en crotalaria, seguido de soya y lablab (Cuadro 2).

Área foliar e intercepción de radiación solar.

El IAF durante el ciclo fue diferente entre especies y en menor grado entre tratamientos de fertilización e inoculación, con ligeras ventajas en fertilización (13.0%). Considerando la media de todos los

tratamientos en cada especie, los mayores valores ocurrieron en soya (6.12), seguida de crotalaria y lablab, que alcanzaron valores de IAF máximos similares (2.21 a 2.22) (Cuadro 2). La crotalaria alcanzó los máximos valores a los 56 dds, mientras que la soya y el lablab lo hicieron a los 77 dds y 99 dds, respectivamente. (Figura 1).

Cuadro 2. Características agronómicas de tres especies de leguminosas con tratamientos de fertilización nitrogenada e inoculación con bacterias fijadoras de N.

Especie	Tratamiento	Altura planta final (cm)	IAF máxima	IRSM (%)	DAF (m ² d ⁻¹)
Soya	Fertilización	126.4 a [†]	6.37 a	97.85 a	208.37 a
	Inoculación	125.2 a	5.88 a	96.97 a	184.67 a
	Media	125.8 B	6.12 A	97.41 A	196.52 A
Crotalaria	Fertilización	171.4 a	2.37 a	66.86 a	57.46 a
	Inoculación	174.6 a	2.07 a	62.36 a	50.04 a
	Media	173.0 A	2.22 B	64.61 B	53.75 C
Lablab	Fertilización	64.2 a	2.55 a	74.65 a	107.64 a
	Inoculación	56.8 a	1.87 a	63.17 a	80.63 a
	Media	60.5 C	2.21 B	68.91 B	94.14 B
Media	Fertilización	120.7 a	3.76 a	79.79 a	124.52 a
	Inoculación	118.9 a	3.27 b	74.18 b	105.07 b

[†]Medias seguidas con distinta letra son significativamente diferentes (Tukey ≤ 0.05); letras minúsculas en cada columna, son para comparación entre tratamientos de fertilización-inoculación en cada especie y para las medias totales de fertilización-inoculación, y las mayúsculas para comparación de medias de cada especie. [‡]IAF = índice de área foliar; IRSM = intercepción de radiación solar máxima; DAF = duración de área foliar.

El mayor valor del IAF en soya respecto a crotalaria y lablab durante gran parte del ciclo de crecimiento, se reflejó en una más alta intercepción de radiación solar, principalmente entre los 41 y 99 dds, con valores de 95% a los 64 dds en tratamientos fertilizados, y de 97% a los 77 dds en los inoculados. La capacidad de intercepción de radiación solar en lablab fue inferior a

la de crotalaria debido a su crecimiento lento entre la emergencia y los 67 dds (Figura 2); sólo en los últimos 22 días de su ciclo, el lablab alcanzó valores máximos (68.9%) similares a los de la crotalaria (64.6%) (Cuadro 2).

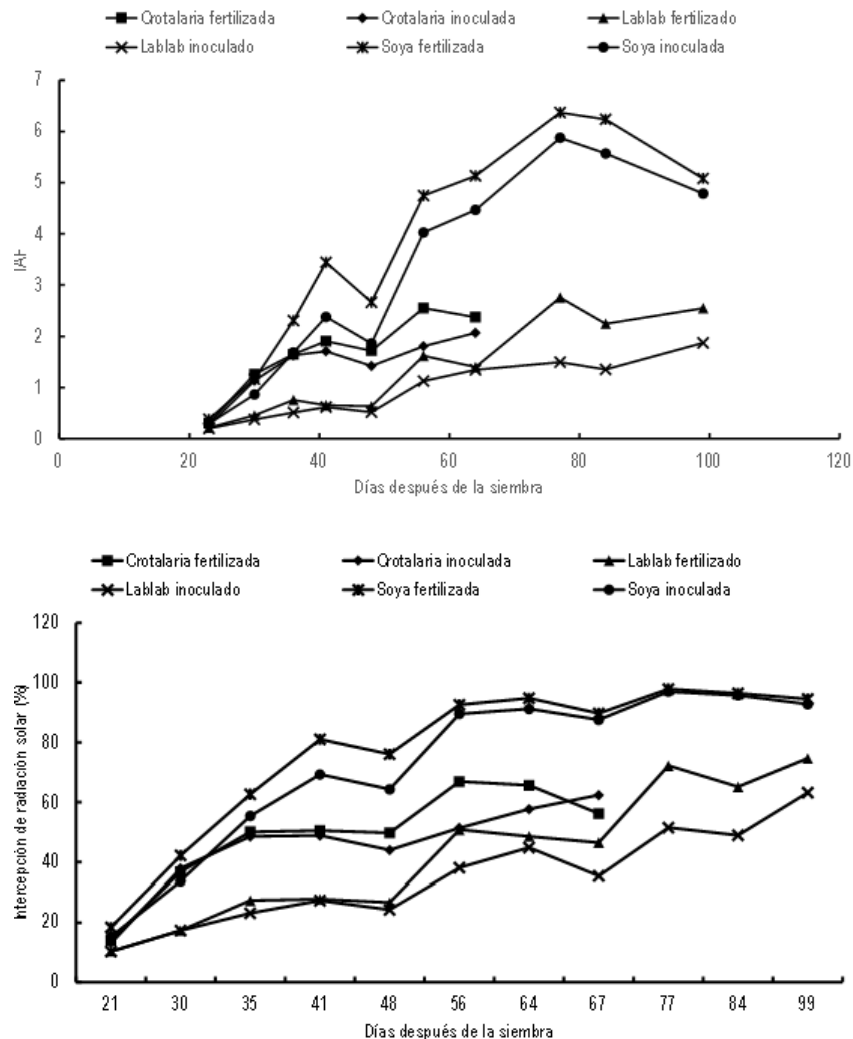


Figura 2. Índice de área foliar (IAF) e intercepción de radiación solar durante el ciclo de tres especies de leguminosas con fertilización nitrogenada y sin fertilización inoculadas con bacterias fijadoras de N.

Ciclo de producción y crecimiento de cultivos.

De las tres especies evaluadas, la crotalaria y la soya presentaron una buena adaptación a las condiciones ambientales de la región Centro-Sur de Chihuahua durante el ciclo primavera-verano. Por el contrario, el lablab "cv. Sustain LS" presentó un crecimiento lento durante todo el ciclo, sin desarrollar órganos reproductivos. El ciclo de crecimiento de Crotalaria fue de 69 dds, mientras que la cosecha de soya y lablab se realizó a los 102 y 104 dds, respectivamente. La precocidad de Crotalaria fue similar al corte en floración a los 60 dds realizada por Magaña et al. (2020) en Cárdenas, Tabasco, México y al ciclo de 76 a 82

dds reportado por Dzvene et al., (2022) en Bloemfontein, Sudafrica. Los ciclos de crecimiento de soya y lablab fueron similares a los observados por Reta et al. (2008) en la Comarca Lagunera, México. En este estudio la soya se cosechó a los 107 dds entre las fases R6 (vainas con semillas verdes ya desarrolladas en uno de los entrenudos superiores) y R7 (primeras vainas con color de maduración y 50% de las hojas amarillas); mientras que la cosecha de lablab se realizó a los 108 dds, en etapa vegetativa. En Delicias, Chihuahua, Orozco et al. (2014) encontraron que la soya variedad Nainari presentó un ciclo de 110 dds cosechada en la etapa R7.



Intercepción de radiación solar y producción de materia seca.

Los valores de IAF de la soya fueron similares a los observados en otros estudios con rendimientos de MS y de semilla altos; mientras que los de la crotalaria y el lablab resultaron menores a los encontrados en trabajos con los mejores rendimientos. La soya presentó el mayor desarrollo del IAF (6.4) y una mayor duración del área foliar en actividad durante el ciclo (4.8 a 5.1), tanto en los tratamientos fertilizados como en inoculados (Figura 2). Al respecto Tagliapietra et al. (2018) indican que se deben alcanzar al menos valores de IAF de 3.4 a 4.5 en la etapa reproductiva (R1) para alcanzar el máximo potencial de rendimiento en soya. Por su parte Müller et al. (2017) encontraron valores de IAF en cultivares de soya de 5.2 a 6.9, e indican que valores de 4 a 5 son los más apropiados para todos los cultivares evaluados. La mayor capacidad de la soya para desarrollar valores altos de IAF e intercepción de radiación solar (Figura 3), y mantenerlos por más tiempo durante el ciclo que crotalaria y lablab (Cuadro 2), explica su mayor producción de MS (Figura 3).

Otra característica importante en soya para el aprovechamiento de la radiación solar es su capacidad de cubrir el suelo en etapas tempranas del ciclo, alcanzando el 95% de intercepción de luz con valores de IAF de 3.9 a 4.3 (Müller et al., 2017; Maitree y Toyota, 2017), los cuales se relacionan

con altos rendimientos de MS y semilla. En nuestro trabajo el 95% de intercepción de radiación solar se alcanzó a los 56 dds, cuando en la soya se inició la floración (R1), lo cual es similar a estudios con altos rendimientos que reportan el cubrimiento del suelo entre los 55 y 58 dds (Souza et al., 2016; Maitree y Toyota, 2017).

En estudios con crotalaria y lablab se observa variación en la respuesta del desarrollo foliar de acuerdo con las variedades utilizadas, manejo agronómico de cultivos y características del medio ambiente en el que se desarrollan. En crotalaria se han observado valores de IAF de 2.19 a 6.20, con una capacidad de intercepción de radiación solar de 88 a 97% (Dzvene et al., 2022; Maldonado-Peralta et al., 2022; Ríos-Hilario et al., 2022); mientras que en lablab, se han encontrado variaciones del IAF de 2.3 a 5.6 (Surajo et al., 2023; Madhanakumari y Priyadarshini, 2021). En el presente estudio los valores del IAF de ambas especies fueron similares a los obtenidos en los trabajos antes citados, pero a los valores inferiores de los intervalos indicados. Este menor desarrollo foliar en nuestro trabajo se reflejó en una menor capacidad de intercepción de radiación solar en crotalaria y lablab, respecto a los observados en estudios con mayor IAF, los cuales reportan valores de 88 a 97%.

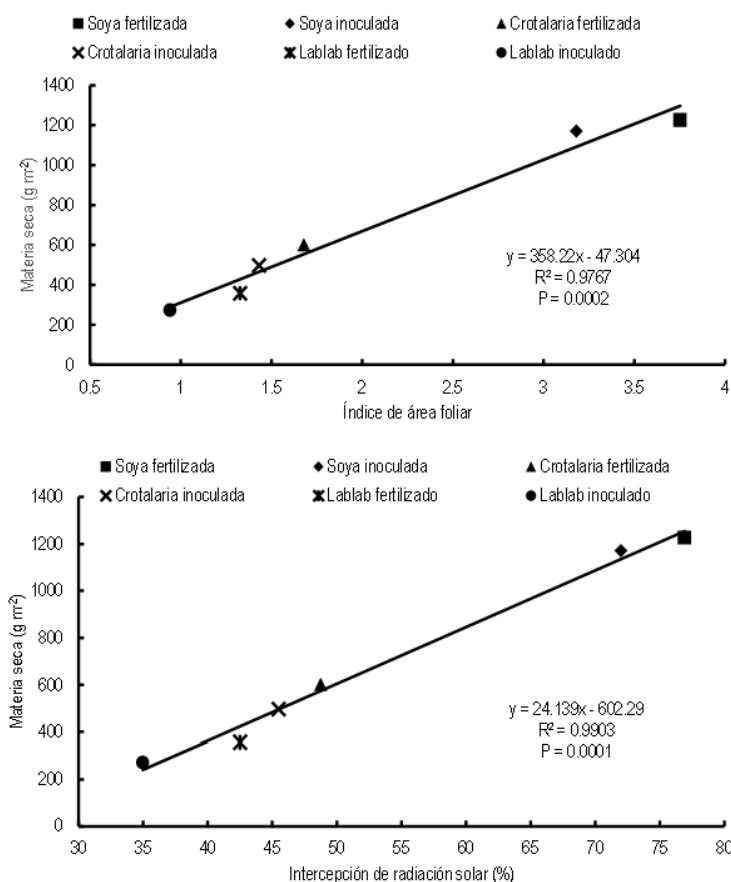


Figura 3. Relación del índice de área foliar y la intercepción de radiación solar promedio durante el ciclo con el rendimiento de materia seca de tres leguminosas establecidas con fertilización nitrogenada y con inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno.

La crotalaria en el presente estudio presentó un crecimiento en altura aceptable (173 cm); sin embargo, su capacidad de ramificación fue pobre, por lo que no cubrió el suelo completamente. Por su parte, el lablab, presentó un crecimiento lento durante todo el ciclo. El bajo crecimiento vegetativo de ambos cultivos durante el ciclo con una baja intercepción de radiación solar resultó en una menor acumulación de MS respecto a la observada en soya (Figura 3).

tratamientos fertilizados como inoculados. La crotalaria fue la especie con mayor precocidad (69 dds), con un crecimiento rápido en altura, pero con una pobre ramificación; mientras que el lablab presentó un crecimiento lento durante el ciclo sin desarrollar órganos reproductivos. La crotalaria y el lablab no alcanzaron la cobertura total del suelo, con valores de IRS máximos de 62.4 a 74.6%, por lo que su rendimiento de MS fue inferior al de la soya.

CONCLUSIONES

La soya y la crotalaria presentaron nodulación efectiva para la fijación de nitrógeno atmosférico, mientras que el lablab no respondió a la inoculación. De las especies evaluadas, la soya produjo el rendimiento de MS más alto debido a su mayor y más temprana intercepción de radiación solar (97.4%), que resultó de los mayores valores de IAF y DAF tanto en los

AGRADECIMIENTOS

A la Convocatoria de proyecto fiscal por el apoyo al proyecto con registro SIGI 11375835151 titulado: "Estrategias de innovación tecnológica para la conservación ex situ de cactáceas ornamentales del desierto Chihuahuense un recurso fitogenético nativo de México".



LITERATURA CITADA

- Chee, Y.K., Chen C.P. 1992. *Crotalaria juncea* L. In: Manneje, L't and R.M. Jones (eds). *Plant Resources of South-East Asia No. 4. Forages*. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, the Netherlands. p. 98-100.
- Dzvene, A.R., Tesfuhney W., Walker S., Ceronio G. 2022. Effects of intercropping sunn hemp into maize at different times and densities on productivity under rainwater harvesting technique. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 6:1009443. Doi:10.3389/fsufs.2022.1009443.
- Kopittke, P.M., Menzies N.W., Wang P., McKenna B.A., Lombi E. 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*. 132 (2019):105078. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- Lötjönen, S., Ollikainen M. 2018. Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions?. *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*. 98:283-312. <https://doi.org/10.1007/s41130-018-0063-z>
- Madhanakumari, P., Priyadarshini V.M. 2021. Effect of biostimulants on the growth of bush bean (*Lablab purpureus* var. *typicus*) cv. Co (Gb)14. *Plant Archives*. 21(1):63-65. <https://doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2021.V21.S1.013>
- Magaña Valenzuela, W., Obrador Olán J.J., García López E., Castelán Estrada M., Carrillo Ávila E. 2020. Rendimiento comparativo de la yuca bajo fertilización mineral y abono verde. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11(6):1259-1271.
- Maitree L., Toyota M. 2017. A high see yield and associated attributes of dry matter production achieved by recent Japanese soybean cultivars. *Plant Production Science*. 20(2):193-204. <https://doi.org/10.1080/1343943x.2017.1294463>
- Maldonado-Peralta, M. de los A., Ríos-Hilario J.J., Rojas-García A.R., Hernández-Guzmán F.J., Cruz-Hernández A., Ortega-Acosta S.A. 2022. Growth rate, leaf:stem ratio, and height of *crotalaria* (*Crotalaria juncea* L.) at different planting densities. *Agro Productividad*. 15(7):95-101. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i7.2317>
- Müller, M., Rakocer M., Caverzan A., Chavarria G. 2017. Grain yield differences of soybean cultivars due to solar radiation interception. *American Journal of Plant Science*. 8:2795-2810. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.811189>
- Negash, F., Mulualem T., Fikirie K. 2018. Effect of cropping sequence on agricultural crops: implications for productivity and utilization of natural resources. *Advances in Crop Science and Technology*. 6(1):1000326. DOI:10.4172/2329-8863.1000326
- Orozco H.G., Reta S.D.G., Quiroga G.H.M., Nava R.P. 2015. Potencial forrajero de variedades de soya pertenecientes a diferentes grupos de madurez en Delicias, Chihuahua. *Agrofaz*. 15(1):83-93.
- Palmero, F., Fernandez J.A., Garcia F.O., Haro R.J., Vara Prasad P.V., Salvagiotti F., Ciampitti I.A. 2022. A quantitative review into the contributions of biological nitrogen fixation to agricultural systems by grain legumes. *European Journal of Agronomy*. 136(2022):126514. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126514>
- Reta S.D.G., Serrato C.J.S., Figueroa V.R., Cueto W.J.A., Berumen P.S., Santamaría C.J. 2008. Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Libro Técnico Núm. 3. 268 p.
- Ríos-Hilario, J.J., Maldonado-Peralta M. de los A., Rojas-García A.R., Hernández-Castro E., Sabino-López J.E., Segura-Pacheco H. 2022. Yield, intercepted radiation, and morphology of *crotalaria* (*Crotalaria juncea* L.) at different densities. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i7.2316>
- SAS Institute. 2011. The SAS system for windows, release 9.3. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.
- SIAP (Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Acciones y Programas. Cierre de la producción agrícola. Gobierno de México.
- Souza, R., Teixeira I., Reis E., Silva A. 2016. Soybean morphophysiology and yield response to seeding systems and plant populations.



- Chilean Journal of Agricultural Research. 76(1):3-8.
- Surajo, A., Fagam A.S., Ali G., Sabo M.U., Bindawa M.A., Yahaya S.U. 2023. Effect of different phosphorus fertilization and sowing dates on growth and yield of lablab (*Lablab purpureus* L. Walp) varieties in semi-arid ecological zone of ringim, jigawa state, Nigeria. *Nigerian Journal of Agriculture and Agricultural Technology*. 3(1):142.149. DOI:10.59331/njaat.v3i1.464
- Tagliapietra, E.L., Streck N.A., Marques da Rocha T.S., Richter G.L., da Silva M.R., Cera J.C., Carús Guedes J.V., Zanon A.J. 2018. Optimum leaf area index to reach soybean yield potential in subtropical environment. *Agronomy Journal*. 110(3):932-938. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.09.0523>
- Thaha, E.H. 2016. Nematicidal effect of sunn hemp amendment on infectivity and reproductivity of soil nematodes in vegetable plants. *Journal of Plant Protection and Pathology*. Mansoura Univ. 7(5):327-332