



**ANÁLISIS DE CRECIMIENTO, RENDIMIENTO DE FRIJOL AYOCOTE
(*Phaseolus coccineus* L.) EN UN SISTEMA DE FERTILIZACIÓN
NITROGENADA †**

[ANALYSIS OF GROWTH, GRAIN YIELD OF AYOCOTE BEAN (*Phaseolus coccineus* L.) IN A NITROGEN FERTILIZATION SYSTEM]

**Néstor Jorge Rojas-Victoria¹, José Alberto Salvador Escalante-Estrada^{1*},
and Cid Aguilar-Carpio¹**

¹*Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-
Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230. Email:*

*nerovic@colpos.mx, * jasee@colpos.mx,*

aguilar.cid@colpos.mx

** Corresponding author*

SUMMARY

Background. The ayocote bean (*Phaseolus coccineus* L.) is a leguminous native of the temperate zones of the Mexican territory, with great potential for use and exploitation by the population. However, information on its growth and mineral nutrition for its production is scarce. **Objective.** Determine the dynamics of growth, biomass production, grain yield and its components in the cultivation of runner beans in a cultivation system with nitrogen fertilization. **Methodology.** The trial was carried out under field conditions, under a rainfall regime during 2014 in Montecillo, State of México, México; with temperate climate. The purple runner bean cultivar was sown with applications of 0, 75 and 150 kg ha⁻¹ of nitrogen fertilization. Variables were recorded as number of green leaves, leaf area index, total biomass and grain yield with its components. The study was developed using an experimental design that was randomized complete blocks with four replications. **Results.** With the treatment of 150 kg ha⁻¹ of nitrogen, the highest values were obtained, such as the number of green leaves, 240 m²; leaf area index, 7.75; leaf area length, 277 days; total biomass, 566 g m² and grain yield 363 g m² with respect to the control. With the same treatment, the organs with the highest accumulation of dry matter were: grain and stem with 39%. **Implications.** With the supply of nitrogen, the biomass and the yield of the runner bean can be increased. This contribution can help the producers of this crop. **Conclusions.** The application of nitrogen to the soil increases the leaf area index, its duration, growth rate, biomass and crop yield. The highest profitability in runner beans is achieved with the application of 150 kg ha⁻¹ of nitrogen.

Keywords: *Phaseolus coccineus*; total biomass; grain yield.

RESUMEN

Antecedentes. El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de las zonas templadas del territorio mexicano, con gran potencial de uso y aprovechamiento para la población. Sin embargo, la información sobre su crecimiento y nutrición mineral para incrementar su rendimiento y producción es limitada. **Objetivo.** Determinar la dinámica de crecimiento, producción de biomasa, rendimiento de grano y sus componentes en el cultivo de ayocote en un sistema de cultivo con fertilización nitrogenada. **Metodología.** El ensayo se realizó en condiciones de campo, bajo régimen de temporal durante 2014 en Montecillo, Estado de México, México; con clima templado. Se sembró el cultivar de ayocote color violeta con aplicaciones de 0, 75 y 150 kg ha⁻¹ de fertilización nitrogenada. Se registraron las variables número de hojas verdes, índice del área foliar, biomasa total y rendimiento de grano con sus componentes. El estudio se desarrolló mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. **Resultados.** Con el tratamiento de 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno se obtuvieron los valores más altos como el número de hojas verdes, 240 m²; índice de área foliar, 7.75; duración del área foliar, 277 días, biomasa total, 566 g m² y rendimiento de grano, 363 g m² con respecto al testigo. Con el mismo tratamiento, los órganos con mayor acumulación de materia seca fueron: el grano y tallo, ambos con 39%. **Implicaciones.** Con el suministro de nitrógeno se puede incrementar la biomasa y el rendimiento del ayocote. Ésta contribución podrá ayudar a los productores de este cultivo. **Conclusiones.** La aplicación de nitrógeno al suelo se incrementa el índice

† Submitted March 31, 2022 – Accepted August 24, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4306>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = N. J. Rojas-Victoria: <https://orcid.org/0000-0002-5282-041X>; J. A. S. Escalante-Estrada: <https://orcid.org/0000-0003-1529-2803>;
C. Aguilar-Carpio: <https://orcid.org/0000-0003-0318-4653>

de área foliar, su duración, la tasa de crecimiento, la biomasa y el rendimiento del cultivo. La mayor rentabilidad en ayocote se obtiene con la aplicación de 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

Palabras clave: *Phaseolus coccineus*; biomasa total; rendimiento de grano.

INTRODUCCIÓN

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa cuyo cultivo es frecuente en las zonas templadas de los Valles Altos del Estado de México, con gran potencial para el uso y aprovechamiento por la población mediante el consumo principalmente de su semilla (Díaz y Escalante, 2011; Rojas *et al.*, 2015). Actualmente, el Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera (SIAP, 2020) reporta que en México los principales estados productores son Puebla y Morelos con una superficie sembrada en conjunto de 946 ha de frijol ayocote donde la producción anual es de 825 t con un rendimiento promedio de 0.87 t ha⁻¹.

El cultivo de ayocote presenta características agronómicas como: tamaño de dosel amplio, tolerancia a bajas temperaturas con un rango de 1-5 °C en regiones templadas, así como tolerancia a la salinidad (Rodiño *et al.*, 2006; Vargas *et al.*, 2013; Al Hassan *et al.*, 2016), presenta resistencia a ciertas enfermedades como la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianu* Sacc. & Magn), virus del mosaico común y mosaico dorado, tizón de halo (*Pseudomonas syringae* Van Mall) y común (*Xanthomonas axonopodis* pv *phaseoli* Smith.) (Duncan *et al.*, 2006; Ruíz-Salazar *et al.*, 2016), y produce rendimiento alto de biomasa (Rojas *et al.*, 2015, Escalante *et al.*, 2017; Rojas *et al.*, 2017). Su semilla contiene 23.4% de proteína, carbohidratos (10.7%) y minerales (en 100 gr proporciona: 116 mg de calcio, 262 de fósforo, 6 mg de hierro, 359 mg de potasio, 12 mg de sodio) con respecto a otras semillas de cultivares de frijol común (Gutiérrez *et al.*, 2004; Jacinto *et al.*, 2019; Bedoya y Maldonado, 2022).

Sin embargo, los estudios relacionados con las respuestas en el crecimiento y rendimiento en grano al manejo agronómico son escasos, por lo que, para incrementar el rendimiento de grano del ayocote se ha recurrido a prácticas agrícolas como la fertilización química (Escalante *et al.*, 2017). Diversos estudios en leguminosas y *Phaseolus vulgaris*, principalmente, muestran que hay un incremento en el número de granos y vainas con la aplicación de nitrógeno (N) al suelo además de un mayor contenido de N y proteína en el grano (Ayala *et al.*, 2006; Díaz-Escalante, 2011; Delgado *et al.*, 2015; Escalante *et al.*, 2021). Así mismo, Escalante *et al.*, 2015 mencionan que con la aplicación de N se puede lograr un desarrollo rápido del área foliar, incremento de la cobertura del suelo e interceptación de la radiación, en consecuencia, incrementa la producción de biomasa total (BT),

acumulación de materia seca (MS) y mayor rendimiento del grano.

Por otra parte, para comprender las causas fisiológicas que determinan el rendimiento de grano por el efecto de la fertilización, se recurre a los análisis de crecimiento, los cuales permiten cuantificar aspectos como la velocidad y duración del ciclo del cultivo, la eficiencia en la producción de MS del dosel, la velocidad de producción de MS en cada fase fenológica del cultivo y distribución en cada órgano de la planta (Gutiérrez *et al.*, 2004; Apáez *et al.*, 2013; Escalante *et al.*, 2017). Para ello se emplean mediciones indirectas como los índices de crecimiento, entre estos la tasa de crecimiento de cultivo (TCC), considerado como un indicador de la productividad agrícola que mide la ganancia en peso seco de un cultivo por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo (Escalante y Kohashi, 2015). En cuanto a la persistencia del dosel vegetal en el tiempo, se considera la duración del área foliar (DAF) como una representación de la duración de producción fotosintética de las hojas en el periodo de crecimiento de cultivo (Apáez *et al.*, 2013; Escalante y Kohashi, 2015). En México es escasa la información relacionada con el análisis de crecimiento y producción en frijol ayocote que se asocie con factores como la nutrición vegetal. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio consistió en determinar la dinámica de crecimiento, producción de biomasa, rendimiento de grano y sus componentes en el cultivo ayocote en un sistema de cultivo con fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad del estudio

El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México (19° 28' Norte, 98° 53' Oeste, a una altitud de 2250 msnm), en condiciones de lluvia estacional, con clima templado (Cw) con régimen de lluvias en verano (clasificación de Köppen en García, 2005), temperatura media anual de 15.4 °C y precipitación media anual de 512 mm; con periodo libre de heladas de 170 días. La superficie de siembra fue de 200 m². El suelo donde se realizó la siembra presentó en los primeros 30 cm, una textura arcillo limosa, con pH de 7.6, conductividad eléctrica de 1.9 dS m⁻¹, 3.5% de materia orgánica y N total de 0.4%, con un contenido de N inorgánico en el suelo de 11.9 mg kg⁻¹. La preparación del terreno se realizó un mes antes de la siembra, se realizaron las labores de

barbecho, rastra, nivelación y surcado, el manejo del cultivo fue de forma manual para el control de malezas.

Material biológico y siembra

El material biológico utilizado fue el cultivar de ayocote criollo de grano color violeta, de hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV) procedente de Calpualpan, Tlaxcala, de origen experimental, cultivado en terreno arcillo-arenoso en condiciones de temporal, sin aplicación de fertilizantes; como tutor se utilizó el cultivar de maíz azul criollo raza Chalqueño. La siembra del ayocote fue el 5 de mayo de 2014, donde se colocaron dos semillas cada 30 cm entre plantas en surcos de 5 metros de largo y 80 cm entre hileras que generó una densidad de 4.1 plantas m⁻².

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0, 75, 150 Kg N ha⁻¹, los cuales se aplicaron de forma fraccionada a los 25 y 40 días después de la siembra (dds), la fuente de nitrógeno fue urea (46%).

Diseño experimental

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en cuatro surcos de 5 m de longitud, tomando en cuenta los dos surcos centrales como parcela útil.

VARIABLES REGISTRADAS

Fenología y condiciones climáticas

Durante el desarrollo del cultivo se registró el promedio decenal de la temperatura (°C) máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}), la suma decenal de la precipitación (PP), estos datos fueron proporcionados por la estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos; asimismo, se registraron los días a ocurrencia de las fases fenológicas: emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) bajo los criterios presentados en Escalante y Kohashi (2015).

VARIABLES DE CRECIMIENTO

Para evaluar el crecimiento del cultivo se evaluó en función de los niveles de fertilización nitrogenada mediante muestreos destructivos de dos plantas dentro de la parcela útil de cada unidad experimental a los 30, 60, 90 y 120 dds, a las cuales se les contó el número de hojas verdes por m² (NHV), el área foliar (AF) con el software libre ImageJ [Versión 1.45, (2013)] (Rincón *et al.*, 2012; Thomas *et al.*, 2013), a

partir del AF se utilizó para calcular el índice de área foliar (IAF) y la duración del área foliar total (DAFT) con base a las siguientes ecuaciones:

$$IAF = \frac{(AF/NP) \times DP}{10000 \text{ cm}^2}$$

donde AF = área foliar por planta (cm²), NP = número de plantas muestreadas, se obtiene el promedio por planta y DP = número de plantas por m² (Escalante y Kohashi, 2015).

$$DAFT = \Sigma [(IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1)]/2$$

donde DAFT = duración del área foliar total, Σ = suma de la duración del área foliar de cada uno de los períodos estudiados, IAF₁ = índice de área foliar en un tiempo del área foliar inicial (T₁, en días), IAF₂ = índice de área foliar en un tiempo final (T₂, en días) (Escalante y Kohashi, 2015).

En las diferentes etapas fenológicas (vegetativa, floración y madurez fisiológica) se registró la materia seca (MS, g m⁻²), para lo cual las muestras se colocaron a 80 °C en una estufa de circulación de aire forzado hasta llegar peso constante. Con estos datos se calculó la tasa media de crecimiento de cultivo (TCC) mediante la siguiente ecuación:

$$\overline{TCC} = \frac{1}{A} \times \left(\frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1} \right)$$

donde PS₂ y PS₁ representan el peso seco de la planta por m² en los tiempos T₂ y T₁, respectivamente; "A" representa el área ocupada por el cultivo (Escalante y Kohashi, 2015), a los datos obtenidos se les realizó un análisis de regresión y un ajuste de curva de tendencia.

Biomasa total, rendimiento de grano y sus componentes

A madurez fisiológica se realizó la cosecha del cultivo donde se registró el rendimiento de grano (RG, g m⁻²) y sus componentes como: número de granos (NG, m²), número de vainas por m² (NV), granos por vaina (GV), peso de cien granos (PCG, g), índice de cosecha (IC, %), con la ecuación IC = RG/BT, biomasa total (BT, g m⁻²), materia seca (MS) y su distribución en las estructuras de la planta (%): tallo, hojas, vainas y grano, la distribución se calculó con el planteamiento: materia seca (MS) de cada estructura / biomasa total (BT) x 100.

Análisis estadístico

A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de

Tukey ($\alpha = 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS, 2011).

Análisis económico

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento, tomando en cuenta el costo total (CT) y el ingreso total (IT), que sirvieron de base para determinar el ingreso neto (IN) y la ganancia por peso invertido (GPI), se utilizaron las siguientes ecuaciones (Volke, 1982; Delgado *et al.*, 2015).

Costo total (CT). Es la suma de los costos fijos (CF = manejo del terreno, costo de semilla, control de malezas y plagas, cosecha y comercialización) y costos variables (CV = costo del fertilizante Urea).

$$CT = (CF + CV)$$

Ingresos totales (IT) se deriva de la venta total del producto y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IT = (Py) (Y)$$

Dónde: Py = precio del producto, Y= producción de ayocote por ha⁻¹.

Ingreso neto (IN) es el monto en efectivo (ganancias) obtenido; se determina de la diferencia entre el costo total (CT) y el ingreso total (IT).

$$IN = (IT - CT)$$

Ganancia por peso invertido (GPI) permite determinar la rentabilidad de los tratamientos evaluados. Se obtuvo dividiendo el ingreso neto (IN) entre el costo total (CT).

$$GPI = (IN / CT)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología y elementos del clima

Los días de la ocurrencia de las fases fenológicas fueron similares entre tratamientos. En el cultivo de ayocote las fases de E, R6 y R9 ocurrieron a los 14, 73 y 129 dds, respectivamente (Figura 1). Reportes de Ayala *et al.* (2006), Rojas *et al.* (2015), Escalante *et al.* (2017), Rojas *et al.* (2017), quienes trabajaron con frijol ayocote en la región de Texcoco, México, indican que la E ocurre entre los 7 a 12 dds, la R6 de 72 a 96 dds y la R9 de 132 a 146 dds. Esto se puede atribuir a que *P. coccineus* presenta una adaptabilidad a diferentes tipos de climas y diferentes condiciones climáticas donde se distribuye (Vargas *et al.*, 2013, Ruíz *et al.*, 2021), por su parte López *et al.* (2005) mencionan que el ayocote es una especie que tolera bajas temperaturas y responde bien a climas templados. Por su parte Díaz y Escalante (2011) señalan que una característica agronómica del ayocote es que puede expresar su desarrollo dependiendo de la presencia o ausencia de nutrientes, radiación solar y disponibilidad de agua. Por lo anterior, resultados obtenidos indican que el cultivo de ayocote se desarrolló adecuadamente en las condiciones climáticas en el área de estudio.

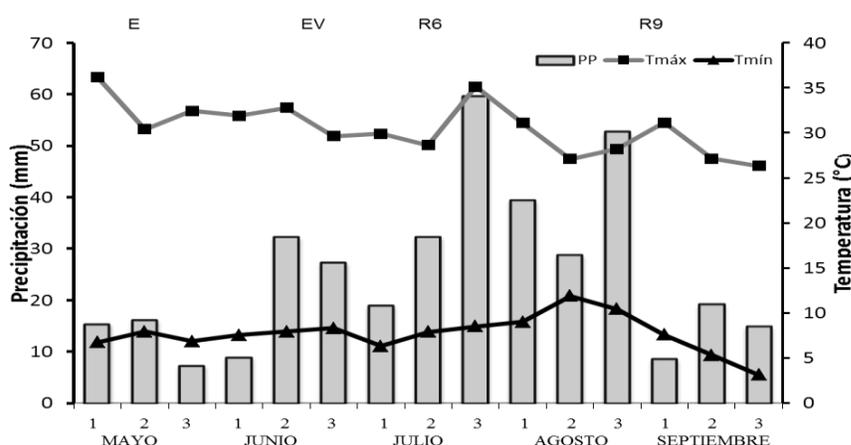


Figura 1. Distribución de la temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) (media decenal) y precipitación (PP) (suma decenal) durante el ciclo de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Montecillo, Texcoco, Estado de México. E = Emergencia, Ev = Etapa vegetativa, R6 = Floración y R9 = Madurez fisiológica.

La $T_{mín}$ y $T_{máx}$ durante el ciclo de cultivo de ayocote fue de 5 a 36 °C, respectivamente. Durante la etapa vegetativa la $T_{mín}$ y $T_{máx}$ fue de 16 a 34 °C y en la etapa reproductiva de 5 a 28 °C, respectivamente. Lo anterior coincide con Rojas *et al.* (2015), Escalante *et al.* (2017) y Rojas *et al.* (2017), que trabajaron con frijol ayocote asociado con maíz en la región de Texcoco, México. Por su parte, Barrios-Gómez *et al.* (2011), donde indican que el rango óptimo de temperatura para el desarrollo de diferentes genotipos de *Phaseolus* sp.es de 8 °C ($T_{mín}$) a 25 °C ($T_{máx}$), lo anterior coincide con las temperaturas registradas en el presente estudio. La mayor PP estacional durante el desarrollo del cultivo fue de 482 mm, de la cual el 56% ocurrió en la etapa vegetativa y el 44% en la etapa reproductiva. Por su parte, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2019), menciona que en clima templado la temperatura óptima durante el ciclo del cultivo de frijol es de 11 a 20 °C, asimismo, la precipitación requerida durante el periodo de crecimiento es de 450 a 900 mm para que el cultivo de frijol pueda expresar su desarrollo y obtener un rendimiento óptimo del grano. Lo anterior coincide con las condiciones registradas por Rojas *et al.* (2017) y Escalante *et al.* (2021), las cuales son similares con los datos obtenidos durante el presente estudio, dichas condiciones climáticas fueron las adecuadas para el cultivo de ayocote pudiera expresar su desarrollo sin alteración de sus fases fenológicas.

Desarrollo foliar de planta de *P. coccineus* en función de ciclo de cultivo y dosis de fertilización nitrogenada

El número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración foliar total (DAFT) mostraron

diferencias estadísticas por el efecto de la fertilización con N. El NHV e IAF se incrementaron conforme avanzó el ciclo de cultivo, los valores máximos se observaron a los 90 dds. Sin embargo, a los 120 dds se observó un descenso debido a la senescencia foliar (Tabla 1).

En cuanto al suministro del N, se observó un incremento en el NHV e IAF a partir de los 30 hasta los 90 dds, con el tratamiento 150N se promovió un mayor NHV e IAF, los cuales fueron superiores en 27% y 28% respecto al tratamiento 0N. Osasuna *et al.* (2008) y Escalante *et al.* (2021), mencionan que la aplicación de N estimula el aumento del número de células de la hoja, generando una expansión foliar, esto debido a la función de las proteínas en el crecimiento de las paredes celulares, generando la expansión de las células lo cual se refleja el grosor de las hojas, dando como resultado el aumento del AF del dosel, logrando una mayor duración de la actividad fotosintética, asimismo, la aplicación de N retrasa la senescencia, se incrementa la duración del área foliar y producción de biomasa. Por su parte, Gutiérrez *et al.* (2004), trabajaron con un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Flor de Durazno con fertilización nitrogenada (0, 100, 200 Kg ha⁻¹), mencionan que la aplicación de 200 Kg de N se obtuvo una mayor cobertura del suelo por el cultivo, incrementando el AF y la radiación interceptada, generando a su vez una mayor acumulación de biomasa con respecto al tratamiento testigo. Lo anterior coincide con los datos obtenidos en el presente estudio. Los mismos autores señalan que durante la etapa de floración y llenado de vaina se registra la máxima AF, pues hay un mayor contenido de clorofila en el dosel el cual aumenta la radiación solar.

Tabla 1. Número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función de la fertilización nitrogenada.

Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	NHV m ⁻²				IAF				DAFT (días)
	30	60	90	120	30	60	90	120	
0N	33c [†]	146c	246c	172c	0.78b	4.31c	8.10c	5.25c	200c
75N	47b	170b	283b	213b	0.83b	6.44b	9.62b	6.60b	243b
150N	58a	204a	314a	240a	0.98a	7.58a	10.7a	7.75a	277a
Tukey $\alpha = 0.05$ (DMS)	7.1	8.1	11	13	0.06	0.30	1.08	0.58	18.6
P < 0.01	**	**	**	**	**	**	**	**	**

[†]Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha = 0.05$), ** P < 0.01; indican efecto significativo. DMS = Diferencia mínima significativa al 5% de probabilidades de error.

En cuanto a la DAFT, con la aplicación de 150 kg ha⁻¹ de N registró el valor más alto con respecto al resto de los tratamientos, lo que sugiere que, la disponibilidad de N favorece a la planta a mantener más tiempo activo el aparato fotosintético, lo que a su vez genera un aumento en la captación de radiación, lo cual se traduce en el incremento de la producción de biomasa. Resultados similares fueron reportados por Apáez *et al.* (2014), quienes trabajaron con frijol ejotero (*Vigna unguiculata* L.) asociado con maíz bajo efecto de fertilización nitrogenada (50 kg ha⁻¹ de N) en clima cálido, mencionan que hay un incremento en el NHV, IAF y DAF con respecto al tratamiento testigo.

Tasa de crecimiento de cultivo (TCC)

La TCC con los valores más altos entre tratamientos se registró con la aplicación de 150N a los 90 dds. La respuesta a la aplicación de N se ajustó a un modelo de regresión cuadrática o polinomio de 2° grado, el cual indica que la producción por día fue de 0.22 g m⁻² día⁻¹, seguido de 75N con 0.16 g m⁻² día⁻¹ y 0N con 0.12 g m⁻² día⁻¹ (Figura 2). El aumento de la TCC se puede atribuir a la presencia del N, pues estimuló la

eficiencia fotosintética del dosel, dicho nutriente causa aumentos en la concentración de la RubisCo y clorofila en las hojas, por lo tanto, hay un incrementando en el tamaño del dosel, así como la intercepción de radiación solar, consiguiendo ser más eficiente en la producción de materia seca (Sánchez *et al.*, 2006; Apáez *et al.*, 2014; Peres *et al.*, 2017). En la literatura no se encontraron reportes de TCC de ayocote. Sin embargo, Escalante *et al.* (2015), observaron una mayor TCC con la aplicación N (100 kg ha⁻¹) en frijol común; esta tendencia fue similar en los resultados del presente estudio, ya que al incrementar el N en el suelo se estimuló de forma positiva la velocidad de crecimiento del cultivo.

Biomasa total, rendimiento de grano y sus componentes

Con excepción del IC, la BT, RG, NV y NG mostraron cambios significativos (Tabla 2). Con la aplicación de 75 y 150 kg ha⁻¹ de N se incrementó la BT en 16 y 27% respectivamente, en relación con 0N. El mayor RG se encontró con 150 kg ha⁻¹ de N, que superó en 24% a 0N. El número de GV y PCG no fueron afectados por los cambios en la aplicación de

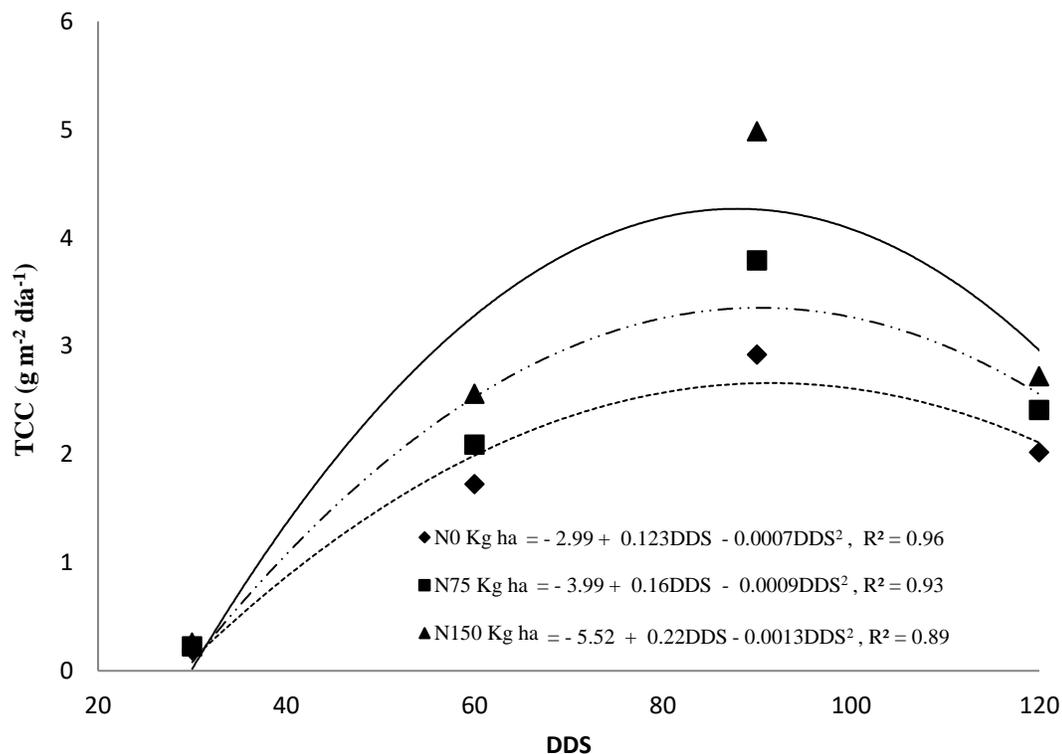


Figura 2. Dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función de la fertilización nitrogenada.

N. El RG más alto de este estudio (363 g m^{-2}) fue superior al reportado para la media nacional de 87 g m^{-2} (SIAP, 2020). Lo anterior, se puede atribuir que dentro de la planta el N es móvil, por lo cual la planta lo puede redistribuir o translocar a medida que la planta envejece, parte del N de las partes vegetativas se mueven hacia el llenado de vaina y formación de semilla. Sin embargo, si la planta dispone de una adecuada cantidad de N durante su ciclo, la actividad fotosintética de la parte vegetativa (hojas y tallo) tendrán una mayor duración, incrementando la acumulación de MS, dando como resultado el aumento de BT y RG (Pichardo *et al.*, 2007; Abayommi *et al.*, 2008; Delgado *et al.*, 2015). Por su parte, Díaz y Escalante (2011), mencionan que la aplicación del N promueve la translocación de nutrimentos del dosel hacia los órganos reproductivos para el llenado de grano incrementando el NV y NG los cuales incrementan el RG. Lo anterior se puede atribuir que durante la etapa reproductiva demanda gran cantidad de asimilados cuya producción depende principalmente de la actividad y duración del AF y del N acumulado en el dosel durante la etapa vegetativa, asimismo, la planta determina la movilización o translocación del N desde los órganos de mayor edad cronológica (por ejemplo, las hojas maduras) hacia los órganos de demanda en este caso al llenado de vaina y formación de grano.

Por su parte, Apáez *et al.* (2013) quienes al evaluar frijol ejotero (*Vigna unguiculata* L.) asociado con maíz con diferentes niveles de fertilización nitrogenada (0, 75 y 150 kg ha^{-1} de N), mencionan que con 150 kg ha^{-1} de N, se obtiene la mayor producción de BT y RG, así como NV y NG en comparación al tratamiento testigo. Dichos resultados son similares a lo logrado en el presente estudio. Lo cual sugiere que la acumulación de N en la planta durante los primeros días de crecimiento es escasa por lo que la planta recién se está desarrollando. Después

ocurre una máxima absorción de N que corresponde al periodo de activo crecimiento, finalmente, la tasa de absorción de N se reduce coincidiendo con el llenado de vaina, iniciando la senescencia foliar y la etapa de madurez fisiológica. Asimismo, la aplicación de altas dosis de N generalmente alarga el ciclo vegetativo de la planta, esto se debe en parte a que en condiciones de alto suministro de N se desvían carbohidratos hacia las estructuras de crecimiento vegetativo (hojas y tallo) generando el retardo de la senescencia de las hojas (Sánchez *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2020). Escalante *et al.* (2015), señalan que mediante la aplicación de N al cultivo se puede lograr un crecimiento en el NV, NG y consecuentemente en el rendimiento. Dichos autores determinaron el efecto de la distancia entre surcos de siembra y la aplicación de N sobre la productividad de biomasa, rendimiento y contenido de N en dos cultivares de frijol: Cacahuete 72 con habito de crecimiento determinado de tipo I y Michoacán 12-A-3 de habito de crecimiento indeterminado arbustivo tipo II; con fertilización nitrogenada de 0 y $100 \text{ Kg de N ha}^{-1}$, teniendo como resultado que la aplicación de N incremento el RG en 14 y 67% respectivamente con respecto al testigo, debido a que el N estimuló la ocurrencia de un mayor NV, GV y NG, los cuales presentaron una alta correlación con el RG. Respuestas similares fueron reportadas por Gutiérrez *et al.* (2004) reportan que con la aplicación de 200 kg ha^{-1} de N en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Flor de Durazno mostró mayor BT a la madurez fisiológica (1003 g m^{-2}) en comparación con el testigo N0 (932 g m^{-2}). Por su parte Escalante *et al.* (2021), que evaluaron diferentes concentraciones de fertilización nitrogenada (0,50, 100 y $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$) aplicando el N antes de la siembra y en la primera escarda en frijol (*P. vulgaris* L.) cultivar “Michoacán 12-A-3”, mencionan que con la aplicación de $100 \text{ kg de N ha}^{-1}$ se logra los mayores incrementos de la BT, RG y sus componentes.

Tabla 2. Biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes en ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función de la fertilización nitrogenada.

Nitrógeno	BT	RG	IC	NV	GV	PCG	NG
kg ha^{-1}	g m^{-2}	g m^{-2}	%			g	m^2
0N	443c ¹	265c	64a	402c	3.0a	45a	1208c
75N	516b	315b	60a	426b	3.0a	47a	1279b
150N	566a	363a	60a	448a	3.2a	48a	1457a
Tukey $\alpha = 0.05$	21	29	4.5	21	0.3	3.5	197
P < 0.01	**	**	ns	**	ns	ns	**

0N = 0 kg ha^{-1} , 75N = 75 kg ha^{-1} , 150N = 150 kg ha^{-1} ; NV: número de vainas; GV: granos por vaina; PCG: peso de cien granos; NG: número de granos. ¹Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha = 0.05$), ** $P < 0.01$. NS = No significativo, DMS = Diferencia mínima significativa al 5% de probabilidad de error.

Relación entre rendimiento en grano y sus componentes

El NV y NG fueron los componentes de mayor relación con el RG (Tabla 3). Esto sugiere que, para incrementar el RG en el cultivo de ayocote, se debe aumentar el NV y NG (Díaz y Escalante, 2011; Escalante *et al.*, 2021). El número de GV presentó una relación más baja con respecto al NV y NG, asimismo con el RG.

Distribución de la materia seca (MS) en los órganos de la planta

La acumulación y distribución de la MS en las estructuras de la planta de ayocote con diferentes tratamientos de N no ocasiono cambios significativos entre los mismos, no se vio afectada la distribución de MS. En promedio el grano y el tallo son las estructuras con la mayor acumulación de MS con el 39% en ambos casos, seguido por la hoja y la vaina con 19% y 5% respectivamente (Figura 3). Lo anterior indica que los fotoasimilados son distribuidos de forma equitativa en las estructuras de la planta y órganos reproductivos, independientemente de la dosis de nitrógeno utilizada (Delgado *et al.*, 2009; Apáez *et al.*, 2013; Delgado *et al.*, 2015). Asimismo, durante la fase vegetativa de la planta, las hojas

participaron con un porcentaje alto a la formación de BT, en comparación del tallo, lo cual indica que las hojas fueron el órgano que aportó mayor cantidad de fotoasimilados durante la formación y llenado de vainas y grano (Rojas *et al.*, 2017; Escalante *et al.*, 2021).

Tabla 3. Coeficiente de determinación entre rendimiento de grano, número de vainas (NV), número de grano (NG), granos por vaina (GV) de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función de la fertilización nitrogenada.

Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	Componentes de rendimiento de grano	Coefficiente de determinación (R ²)	Valor de F
75	NG	0.84	**
	NV	0.95	**
	GV	0.60	NS
150	NG	0.91	**
	NV	0.98	**
	GV	0.50	NS

NS = no significativo, significativo a $P < 0.05$; ** 0.01 ($P < 0.01$).

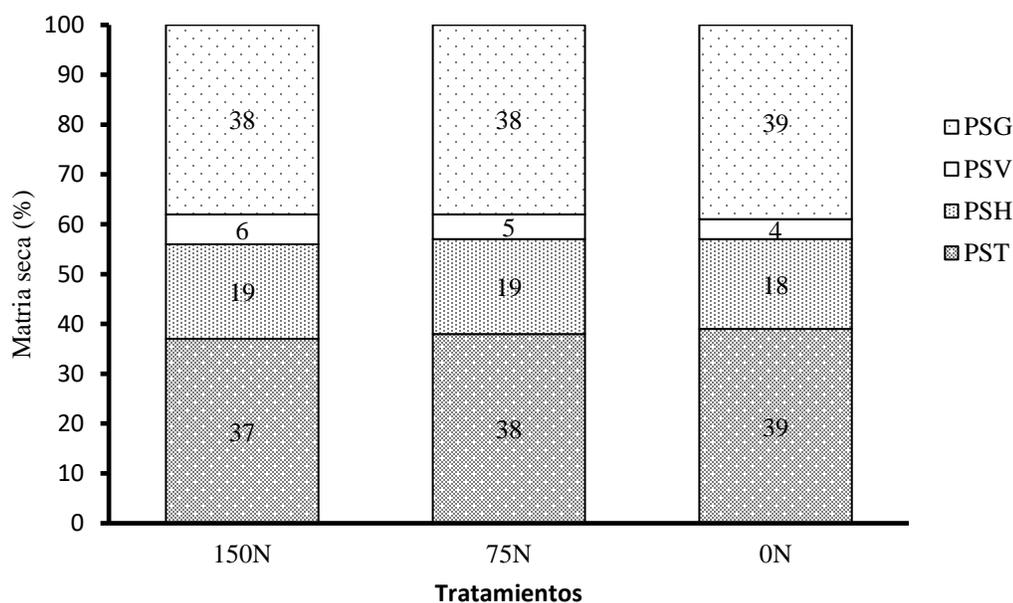


Figura 3. Distribución (%) de MS en el cultivo de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función de fertilización nitrogenada. PSG = peso seco de grano (g m⁻²), PSV = peso seco de valvas (g m⁻²), PSH = peso seco de la hoja (g m⁻²), PST = peso seco del tallo (g m⁻²).

Tabla 4. Rendimiento de grano (RG), ingresos totales (IT), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en función del nitrógeno en el cultivo de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Valores expresados en pesos mexicanos

Nitrógeno	RG	IT	CT	IN	GPI
(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	\$	\$	\$	\$
0	2650	66,250.00	10,750.00	55,500.00	5.16
75	3150	78,750.00	11,899.15	66,850.85	5.61
150	3650	91,250.00	13,048.30	78,201.70	5.99

IT = RG x precio por kg de ayocote (\$ 25.00 pesos mexicanos).

Análisis Económico

En el Tabla 4 se muestra el análisis económico para el RG, con la aplicación de 150N se tuvo el mayor ingreso neto (IN), al igual que el costo total (CT) y la ganancia por peso invertido (GPI), fue de \$5.99. En extensiones menores de dos hectáreas que siembran ayocote se recomienda 150N debido a que genera un mayor IN. Tendencias semejantes fueron reportadas por Apáez *et al.* (2013) que trabajaron con *Vigna unguiculata* asociado con maíz, reportan que con 150 kg ha⁻¹ de N se logra mayor rentabilidad económica con respecto al testigo.

CONCLUSIONES

La fertilización con 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno en el agrosistema de frijol ayocote en espaldera de maíz, incrementa el índice y duración de área foliar, tasa de crecimiento de cultivo, la biomasa total, el número de vainas, número de granos y el rendimiento de grano. La aplicación de nitrógeno no afectó la distribución de materia seca en las diferentes estructuras de la planta. En el cultivo de frijol ayocote la mayor rentabilidad se obtuvo con la aplicación de 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno.

Agradecimientos

Al Conejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca y apoyo otorgado para la realización del presente trabajo. Al Colegio de Postgraduados por el apoyo y facilidades proporcionadas durante la realización de le presente investigación.

Funding. The Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)-México

Conflict of interest. Nothing to declare

Compliance with ethical standards. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Data availability. Data is available with upon request with the corresponding author.

Author contribution statement (Credit). N. J. Rojas-Victoria- research, writing methodology-original draft. J. A. S. Escalante-Estrada-methodology, review, writing-original draft. C. Aguilar-Carpio-methodology, review, writing original draft.

REFERENCIAS

- Abayomi, Y. A., Ajibade, T. V., Sammuell, O. F. and Saadudeen, B.F., 2008. Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Asian Journal of Plant Sciences*, 7, pp. 170-76.
- Al Hassan, M., Morosan, M., López-Gresa, M. P., Proens, J., Vicente, O. and Boscaiu, M., 2016. Salinity-induced variation in biochemical markers provide insight into the mechanisms of salt tolerance in common (*Phaseolus vulgaris*) and runner (*P. coccineus*) beans. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(1582), pp. 1-16.
- Apáez-Barrios, P., Escalante-Estrada, J. A. S., Koch-Olt, S. D., Sosa-Montes, E. and Olalde-Gutiérrez, V., 2013. Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. *Terra latinoamericana*, 31(4), pp. 285-293.
- Apáez-Barrios, P., Escalante-Estrada, J. A. S., Sosa-Montes, E., Rodríguez-González, M. T., and Apáez-Barrios, M., 2014. Fenología, Producción y Calidad Nutricional del grano de frijol chino en función de la biofertilización y fertilización foliar. *Interciencia*, 39 (12), pp. 857-862.
- Ayala, G. O. J., Pichardo, G. J. M., Estrada, G. J. A., Carrillo, S. J. A. and Hernández, L. A., 2006. Rendimiento y calidad de semilla del frijol ayocote en el Valle de México. *Agricultura Técnica en México*, 32 (3), pp. 313-321.

- Barrios-Gómez, E. J., López-Castañeda, C., Acosta-Gallegos, J. A. Miranda-Colín, S. and Canul-Ku, J., 2011. Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frijol. *Investigación Agropecuaria*, 8(1), pp. 1-15.
- Bedoya, R. A. and Maldonado, M. A., 2022. Características nutricionales y antioxidantes de la especie de frijol petaco (*Phaseolus coccineus*). *Revista Chilena de Nutrición*, 49(1), pp. 34-42.
- Delgado, R., Cabrera de Bisbal, E., Ortega, B. and Velásquez, L., 2009. Acumulación de materia seca, N, P y K en frijol cultivado bajo labranza mínima y convencional en un molisol de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 59 (4), pp. 401-411.
- Delgado-Martínez, R., Escalante-Estrada, J. A. S., Morales-Rosales, E. J., López, S. J. A. and Rocandio, R. M., 2015. Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(2), pp. 15-25.
- Díaz-Ruíz, R. and Escalante-Estrada, J. A. S., 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función del nitrógeno, fósforo y densidad de población. *Investigación Interdisciplinaria para el desarrollo rural en Puebla y Tlaxcala*, p. 102-119.
- Duncan, R. W., Terán, H., Singh, S. P. and Gilbertson, R. L., 2006. Comparison of marker-assisted and direct selection for introgression of common bacterial blight resistance in common bean. *Bean Improvement Cooperative*, 49, pp.11-12.
- Escalante-Estrada, J. A. S. and Kohashi-Shibata, J., 2015. *El rendimiento y crecimiento del frijol*. Manual para la toma de datos. Montecillo, Texcoco. México: Colegio de Postgraduados.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T. and Escalante-Estrada, Y. I., 2015. Nitrógeno, distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares de frijol. *Bioagro*, 27(2), pp.75-82.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T. and Escalante-Estrada, Y. I., 2017. Modelos que describen la distribución de rendimiento, sus componentes y radiación solar en ayocote en espalderas de tripie. En: F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda, eds. *Ciencias matemáticas aplicadas a la Agronomía*, Texcoco de Mora, México, 2017.
- Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T. and Escalante-Estrada, Y. I., 2021. Rendimiento de frijol y la aplicación de nitrógeno. *Exploratoris: Revista de la Realidad Global*, 10(1), pp. 106-112.
- García, E. L., 2005. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. 4ª ed. D.F. México: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Gutiérrez-Rodríguez, M., Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T. and Reynolds-Matthew, P., 2004. Índices de reflectancia y rendimiento del frijol con aplicaciones de nitrógeno. *Terra latinoamericana*, 22(4), pp. 409-416.
- Jacinto-Hernández, C., Corina-Peña, M., Contreras-Santos G., Martínez-López, L., Zapata-Martelo, E. and Ayala-Carrillo, M. R., 2019. Azúcares totales y proteína en frijol nativo de la región Triqui Alta, Oaxaca. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10 (7), pp.1667-1674.
- López-Soto, J.L., Ruíz-Corral, J.A., Sánchez-González, J.J. and Lépiz-Ildelfonso, R., 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* sp) en la república mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3), pp.221-230.
- Osasuna-Ceja, E. S., Padilla-Ramírez, J. S., Martínez-Gamiño, M. A. and Acosta-Gallegos, J.A., 2008. Fertilización foliar dl frijol de temporal en el altiplano semiárido de Aguascalientes. *Tecnología para la producción frijol en el norte centro de México. Libro Técnico*. 8, pp. 112-131.
- Peres-Soratto, R., Aranda-Catuchi, T., Cordova-De souza, E. D. F., and Nantes-García, J., 2017. Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. *Revista Caatinga*, 30(3). <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n315rc>
- Pichardo-Riego, J. C., Escalante-Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T. and Sánchez-García, P., 2007. Aplicación dividida y eficiencia agronómica del nitrógeno, uso de

- agua y radiación y rendimiento de haba. *Terra Latinoamericana*, 25(2), pp. 145-154.
- Rincón, N., Olarte, Q. M. A. and Pérez, N. J. C., 2012. Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(1), pp. 6399-6405.
- Rodiño, A. P., Lema, M., Pérez-Barbeito, M., Santalla, M. and De Ron, A. M., 2007. Assessment of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) landraces: Population Structure and Adaption, as Revealed by cpSSRs and Phenotypic Analyses. *PLoS ONE*, 8(2), e57337.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057337>
- Rojas-Victoria, N. J., Escalante-Estrada, J. A. S. and Rodríguez-González, M. T., 2015. Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, 58, pp. 129-130.
- Rojas-Victoria, N. J., Escalante-Estrada, J. A. S., Conde-Martínez, F. V., Mejía-Contreras, J. A. and Díaz-Ruiz, R., 2017. Rendimiento de frijol ayocote y maíz del agrosistema asociado en función del número de plantas por mata. *Terra Latinoamericana*, 35(3), pp. 219-228.
- Ruíz-Salazar, R., Muruaga-Martínez, J. S., Vargas-Vázquez, M. L. P., Alejandre-Iturbide, G., Castañon-Nájera, G., Hernández-Delgado, S., Almaraz-Abarca, N. and Mayek-Pérez, N., 2016. Marcadores moleculares SCAR para identificar fuentes de resistencia a enfermedades en frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*). *Phyton (Buenos Aires)*, 85, pp.184-193.
- Ruiz-Salazar, R., Hernández-Delgado, S., Vargas-Vázquez, M.L.P. and Mayek-Pérez, N., 2021. Estado actual de los recursos genéticos de *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 56(3), pp. 289-305.
- Sánchez-Chávez, E., Soto-Parra, J.M., Ruíz-Sáez, J.M. and Romero-Monreal, L., 2006. Biomasa, actividad enzimática y compuestos nitrogenados en plantas de frijol ejotero bajo diferentes dosis de potasio. *Agricultura Técnica en México*, 32(1), pp.27-37.
- SAS Institute Inc. 2011, SAS® 93 Guide to Software updates. Carv. NC: SAS Institute Inc., pp:73-78.
- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera, 2019. Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano, pp. 4-8.
- SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera, 2020. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México.
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- Silva, G. C., Araujo, E. V., Almeida, V. F. R., Araujo, R. S. L., Lourenço, C. E., Lisboa, C. F., Teixeira, I. R., Silva, M. B., Sousa, W. S. and Silva, A. G., 2020, Nitrogen fertilization management in common bean and castor bean intercropping system. *Australian journal of Crop Science*, 14(5), pp: 843-851.
<https://doi.org/10.21475/ajcs.20.14.05.p2414b>
- Thomas-Newton, M., Abramo, M. J, Fernández de Sousa, A. K., Curti, G. L., Fogolar, H. and Dos Santos, C. V., 2013. Utilizando el software ImageJ para estimar el área foliar para el cultivo de frijol. *Interciencia*, 38(12), pp. 843-848.
- Vargas-Vázquez, M. L. P., Muruaga-Martínez, J. S. and Pérez-Guerrero, A., 2013. Temperatura y precipitación de los sitios de colecta de variedades nativas de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), pp.843-853.
- Volke, H. V., 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Ed. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología. México, pp. 61-62.