

## Resultados preliminares de efecto de la densidad de siembra en la producción vertical de frijol negro en ambiente protegido en Veracruz, México

Preliminary results of the effect of planting density on vertical production of black beans in a protected environment in Veracruz, Mexico

**Capetillo-Burela, A.<sup>1</sup>, Reynolds-Chávez, M. A.<sup>1</sup>, Zetin-Lezama, R.\*<sup>1</sup>, López-Collado, C. J.<sup>2</sup>, López-Romero, G.<sup>2</sup>, Palma-López, D. J.<sup>3</sup>, Ortega-Jiménez, E.<sup>2</sup> y Osorio-Magdalena, L. A.<sup>1</sup>**

 Capetillo Burela A .  
capetillo.angel@inifap.gob.mx

 Reynolds Chávez M. A .  
reynolds.marco@inifap.gob.mx

 Zetina Lezama R .  
zetina.rigoberto@inifap.gob.mx

 López Collado C. J.  
cjlc2000@hotmail.com

 López Romero G.  
gustavolr@colpos.mx

 Palma López D. J.  
dapalma@colpos.mx

 Eusebio Ortega Jiménez E .  
eortegaj@colpos.mx

 Osorio Magdalena L. A .  
osorioma123456@gmail.com

\*Autor de correspondencia: [zetina.rigoberto@inifap.gob.mx](mailto:zetina.rigoberto@inifap.gob.mx)

<sup>1</sup> Campo Experimental Cotaxtla-Centro de Investigación Regional Golfo Centro-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Km 34.5 Carretera Federal Veracruz Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz, México

<sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5 Carretera Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates, municipio de Manlio F. Altamirano; Veracruz, Ver. C.P. 91700. México.

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina S/N Km. 3, Periférico Carlos A Molina SN, Ranchería Río Seco y Montaña, 86500 Cárdenas, Tabasco, México.

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático  
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol.10, núm.19, 2024

[ribcc@ev.unanleon.edu.ni](mailto:ribcc@ev.unanleon.edu.ni)

Recepción: 19 Agosto, 2024

Aprobación: 26 Noviembre, 2024

URL: [https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB\\_ICAMCLI/article/view/1089](https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB_ICAMCLI/article/view/1089)

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v10i19.19327>

Copyright © 2024 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua León (UNAN-León), Área de Conocimiento de ciencias agrarias y veterinarias/ Área Específica de Agroecología y agronegocios /Centro de Investigación Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos. Departamento de Investigación. Unidad de Publicaciones y Eventos Científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional  
Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0

### Resumen

**Antecedentes:** Frijol (*Phaseolus vulgaris*) es una leguminosa de importancia en México, rica en proteínas, vitaminas y minerales esenciales. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de seis densidades de siembra en la producción vertical de frijol en ambiente protegido en la zona costera del puerto de Veracruz. **Metodología:** La investigación se llevó a cabo en los terrenos del Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante el ciclo otoño-invierno 2022, el diseño experimental fue completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones. Por cada tratamiento se atribuyó una separación entre plantas, lo que corresponde a T1= 20 cm, T2= 30 cm, T3= 40 cm, T4= 50 cm, T5= 60 cm y T6= 70 cm, además de una distancia entre surcos de 60 cm. Las variables medidas fueron: altura de planta, clorofila, número de vainas por planta, granos por vaina, rendimiento y materia seca. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico Info Stat 2020. **Resultados:** Los resultados para la variable altura planta no registraron diferencias significativas entre tratamientos (CV= 8.63), a medida que aumentó la distancia entre plantas también se incrementó la altura. Se encontró que la mejor densidad de siembra en este sistema de producción fue entre 60 y 70 cm entre plantas y con los cuales se logró un rendimiento 108.41 y 96.6 gramos por planta respectivamente. **Conclusión:** Esto sugiere que emplear estas distancias favorece tanto el crecimiento vertical como la productividad por planta.

**Palabras claves:** bioespacio, riego por goteo, siembra vertical, arreglos topológicos, rendimiento

### Abstract

**Background:** Beans (*Phaseolus vulgaris*) are an important legume in Mexico, rich in proteins, vitamins, and essential minerals. The objective of this research was to evaluate the effect of six planting densities on vertical bean production in a protected environment in the coastal area of the port of Veracruz. **Methodology:** The research was carried out on the grounds of the Cotaxtla Experimental Field, belonging to the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP), during the autumn-winter 2022 cycle, the experimental design was completely randomized with six treatments and three replications. For each treatment, a separation between plants was assigned, which corresponds to T1 = 20 cm, T2 = 30 cm, T3 = 40 cm, T4 = 50 cm, T5 = 60 cm and T6 = 70 cm, in addition to a distance between rows of 60 cm. The variables measured were: plant height, chlorophyll, number of pods per plant, grains per pod, yield and dry matter. The data were analyzed with the statistical package Info Stat 2020. **Results:** The results for the plant height variable did not register significant differences between treatments (CV = 8.63), as the distance between plants increased, so did the height. It was found that the best planting density in this production system was between 60 and 70 cm between plants and with which a yield of 108.41 and 96.6 grams per plant respectively was achieved. **Conclusion:** This suggests that using these distances favors both vertical growth and productivity per plant.

**Keywords:** biospace, drip irrigation, vertical planting, topological arrangements, yield

## Introducción

La agricultura en México se define como una actividad económica para la producción de alimentos y otros bienes; la cual se caracteriza porque el hombre aplica su fuerza de trabajo, sus conocimientos, habilidades e instrumentos para la transformación del medio físico y biológico, a fin de obtener la satisfacción directa de necesidades básicas como la alimentación y otras, mediante los ingresos económicos derivados de la venta de los productos obtenidos. El frijol *Phaseolus vulgaris L.*, es una leguminosa que tiene la cualidad de realizar la actividad simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (*Rhizobium phaseoli*), lo que contribuye a mejorar la fertilidad de los suelos; además, de ser un alimento de alto valor energético, el grano contiene alrededor de 22 % de proteínas de alta digestibilidad, 70 % de carbohidratos totales, aportando cantidades importantes de minerales (Ca, Mg, Fe) ([Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola, \[ICTA\], 2022](#)).

El consumo anual per cápita del país es de nueve kilogramos y en los meses de noviembre, diciembre y febrero es cuando se obtienen las mayores cosechas. Las variedades más consumidas son negros, pintos, flores y azufrados ([Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural \(SADER, 2022 y 2023\)](#) y ([Martínez, 2023](#)). Por lo tanto, ante la necesidad de controlar los factores ambientales que afectan a los cultivos, la agricultura protegida se presenta como una alternativa que abarca una serie de estructuras diseñadas para crear un microambiente que permita brindarle al cultivo las condiciones necesarias para su desarrollo, asegurando en un alto porcentaje la producción para finalmente hacer reddituable la actividad agrícola, a través del incremento en la generación de ganancia y propiciando la generación de empleo de manera directa e indirecta ([Alejo et al., 2011](#); [Rodríguez Ramírez et al., 2018](#)). La producción en ambiente protegido contrarresta los factores que afectan a los cultivos a cielo abierto como; factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (sequía, altas temperaturas, baja fertilidad, etc.), permite identificar en todo momento la aparición de estos teniendo un mejor control y un mejor manejo del cultivo, además de obtener mayores rendimientos en la producción, innocuidad y alimentos saludables.

La densidad de siembra permite mejorar la distribución de las semillas y plantas en un determinado espacio, esto con el fin de incrementar los rendimientos, es por ello que la mayoría de los productores las desconocen y por lo tanto establecen a densidades inadecuadas, de las ya recomendadas ([Calero et al., 2018](#)). El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de seis densidades de siembra en la producción vertical de semilla de frijol en ambiente protegido en la zona costera del puerto de Veracruz, con el fin de apoyar y reactivar la economía de los pequeños productores, utilizando tecnologías de bajo costo y al mismo tiempo generar mejores rendimientos en la producción.

## Materiales y métodos

### Ubicación

La investigación se llevó a cabo en condiciones de ambiente protegido, en los terrenos del Campo Experimental Cotaxtla perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el kilómetro 34.5 de la carretera Federal Veracruz-Córdoba, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz en las coordenadas geográficas 18°56'1.8" Latitud Norte, 96° 11'35.5" Longitud Oeste y una altitud de 15 m. El clima predominante es cálido subhúmedo con lluvias en Verano (AW2), temperatura media anual de 25 °C, con una precipitación anual de 1,293 mm y humedad relativa promedio de 87 % ([García, 2004](#)). El diseño experimental utilizado en esta investigación fue completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones respectivamente. Los tratamientos evaluados fueron diferentes separaciones entre plantas: T1= 20 cm, T2=30 cm, T3=40 cm, T4=50 cm, T5 60 cm y T6= 70 cm; considerando una sola distancia entre surcos que fue de 60 cm. Como dato adicional, las camas contaban con una longitud de 18 m de largo, 1 m de ancho.

### Manejo agronómico del experimento:

Preparación del terreno: se ubicó el lugar de siembra, se removió el suelo para des compactar y al mismo tiempo se eliminaron las malezas, posteriormente se llevó a cabo la desinfección del suelo, ya que es parte fundamental para un buen desarrollo de las plantas, posteriormente se elaboraron tres camas dentro del bioespacio con medidas de 18 m de largo, 1 m de ancho, 15 cm de alto y separación entre camas de 50 cm, se colocó la cinta de riego a distancia de 45 cm entre una y otra, las camas se cubrieron en su totalidad con acolchado plástico color negro hacia abajo y blanco hacia la parte de arriba, en el cual se realizó el trazado de los puntos de siembra con un plumón de aceite para dividir los tratamientos, seguidamente se ubicó la cintilla de riego con una cinta métrica para iniciar con las perforaciones a las distancias establecidas, considerando en todo momento el arreglo topológico tres bolillo.

La siembra se realizó el 30 de septiembre del 2022, previamente a la siembra, las semillas fueron inoculadas con micorrizas y en cada perforación se colocaron tres semillas a una profundidad de 3 cm.

El tutorado de las plantas de frijol Negro Jamapa se llevó a cabo con rafia plástica a los 15 días después de germinación, el cual consistió en amarrar la base de la planta y guiarla sobre la rafia con el fin de obtener un buen desarrollo, producción y buenos rendimientos. Fertilización. Se utilizó una dosis de fertilización de 40-40-40 unidades de NPK, la cual es la recomendada por el INIFAP en su paquete tecnológico vigente para la producción de frijol negro Jamapa. A los 15 días después de la germinación, se aplicó todo el fósforo y potasio en drench. El nitrógeno, por su parte, se dividió en cuatro aplicaciones realizadas cada 15 días, comenzando desde la germinación y continuando hasta los 75 días después de la siembra. Además de la fertilización granulada, también se realizaron aplicaciones del fertilizante foliar comercial Humostar, en dosis de 2 mL por litro de agua asperjado al follaje cada 15 días posterior a la floración y hasta la madurez fisiológica del cultivo.

Control de plagas y enfermedades. Se identificó el ataque de "gusano cogollero" *Spodoptera frugiperda Smith* (*Lepidoptera: Noctuidae*) alimentándose de los cogollos de la planta a los 6 días después de la siembra, se controlaron con aplicaciones de muralla max al 1 %. Además de que en la prevención de aparición de hongos, se realizaron dos aplicaciones en el periodo productivo del cultivo de fungicida benomilo al 1 %.

## Variables respuesta:

Altura de planta. Para cada tratamiento y repetición, se seleccionaron tres plantas al azar que presentaran competencia completa mediante el método de selección aleatoria directa. Estas plantas fueron medidas a los 10, 20, 30 y 90 días después la germinación y hasta alcanzar la madurez fisiológica. La medición se realizó utilizando un estadal graduado, desde la base de la planta hasta la última hoja funcionalmente fotosintética.

Clorofila. Los datos se tomaron de tres plantas por tratamiento y repetición a cada 10 días con un medidor portátil de clorofila SPAD 502 Plus Minolta el cual mide el contenido de clorofila o verdor de las plantas, esto con el fin de reducir deficiencias. Las mediciones fueron realizadas en hojas recientemente maduras; las cuales, se basaron en características morfológicas y fisiológicas observables en el campo como por ejemplo la posición en la planta, el tamaño y color, la textura y turgencia, la función fotosintética y las características visuales del pecíolo

Número de vainas por planta. Esta variable se realizó en la cosecha, de manera manual se contaron el número de vainas de tres plantas por tratamiento y repetición respectivamente.

Granos por vaina. De las tres plantas que se seleccionaron de cada tratamiento y repetición se contó el número total de granos de 10 vainas, estas tomadas al azar.

Manejo postcosecha: Fueron eliminados los granos pequeños, fuera de tipo, de color diferente y las impurezas esto de forma manual. Posteriormente se determinó el porcentaje de humedad del grano con un medidor portátil.

Rendimiento. En cada unidad experimental se cosecharon tres plantas. Las muestras colectadas fueron pesadas en una báscula digital con presión de 0.1 g. para obtener el rendimiento por planta y a partir de este dato obtener el rendimiento por m<sup>2</sup>, ajustado al 14 % de humedad de la semilla cosechada.

Materia seca. Se colectaron tres plantas de cada tratamiento y se tomó el peso en fresco y peso seco; las cuales fueron sometidas a la estufa de aire forzado a 65 °C y hasta alcanzar el peso constante.

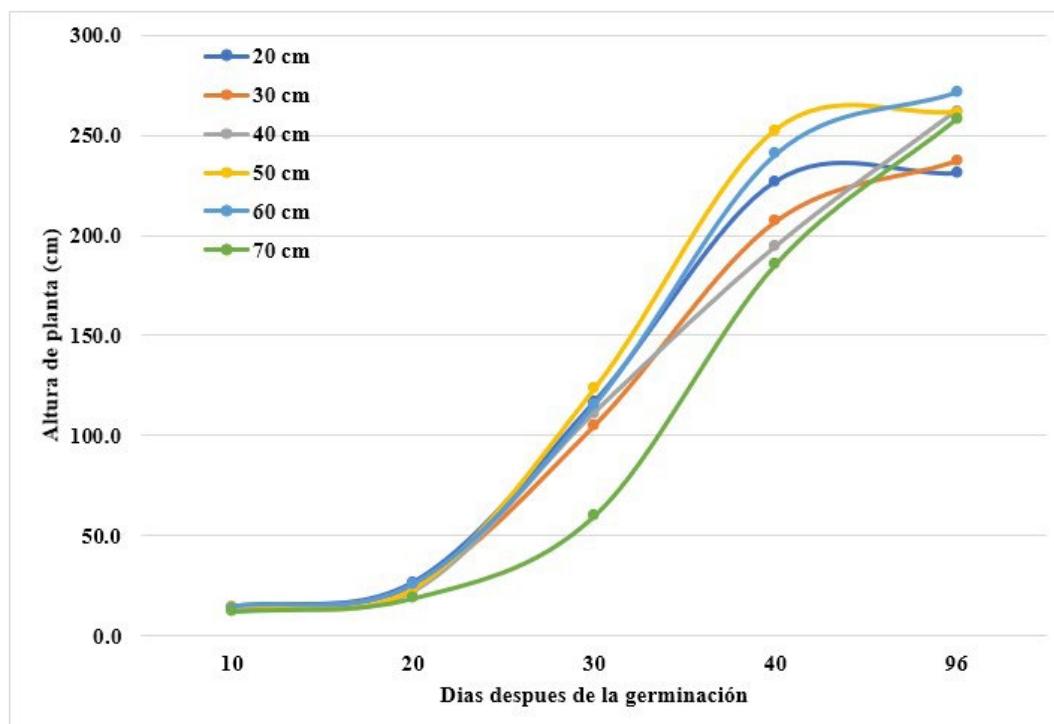
## Análisis estadístico

Los resultados de las variables antes mencionadas fueron analizados con paquete estadístico de InfoStat 2020; a los cuales se realizaron análisis de varianza (ANOVA), así como pruebas de comparación de medias con el fin de identificar cuáles grupos tienen diferencias significativas en sus medias después de realizar un análisis de varianza (ANOVA).

## Resultados y discusión

### Altura de planta

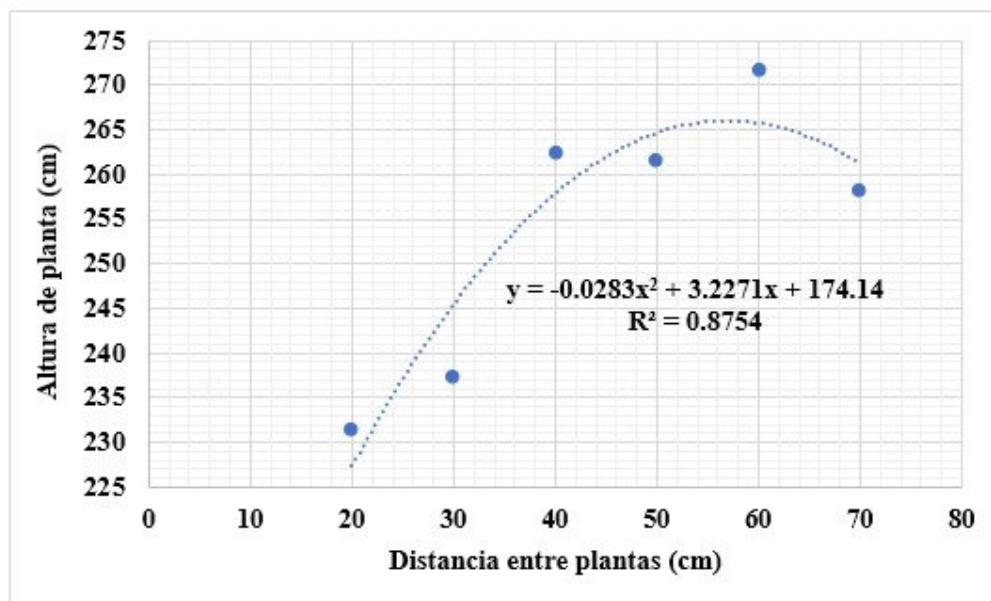
En la [Figura 1](#) se presentan las curvas de crecimiento para la variedad de frijol Negro Jamapa en condiciones de ambiente protegido en el centro de Veracruz. En esta gráfica se observa que durante los primeros diez días todos los tratamientos tuvieron un crecimiento similar; el promedio general fue de 13.8 cm con valores máximos de 14.8 y valores mínimos de 12.2 cm en los T1 (20 cm de separación entre plantas) y T6 (70 cm de separación entre plantas); en este periodo, el ritmo de crecimiento de las plantas fue de 1.4 cm/día. Para esta fecha no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos.



**Figura 1.** Altura de planta a los 10, 20, 30, 40 y 90 días después de la germinación para la variedad Negro Jamapa, cultivada en ambiente protegido a diferentes densidades de siembra en el centro del estado de Veracruz.

A los 20 días después de la germinación (DDG), las plantas alcanzaron una altura promedio de 23.6 cm, lo que significa que durante el periodo de los 10 a los 20 DDG las plantas crecieron a un ritmo de 2.4 cm/día; es decir, para este periodo el ritmo de crecimiento se incrementó en un 71 %, con respecto a los primeros 10 DDG. En esta fecha, el análisis de varianza tampoco registró diferencias significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación fue de 20.95 %, considerado como aceptable para las condiciones en que se condujo el experimento. Un mes después de la germinación se observaron diferentes ritmos de crecimiento; las plantas separadas a 70 cm (T6) alcanzaron una altura promedio de 60 cm; mientras que las que las del T4 (separadas a 50 cm) midieron en promedio 123.5 cm; es decir, tuvieron un ritmo de crecimiento de 2.0 y 4.1 cm/día respectivamente. De acuerdo con [López y Sánchez, \(2022\)](#), encontraron que un espaciamiento mayor entre plantas de frijol podría reducir la competencia por recursos como la luz, el agua y los nutrientes, promoviendo un crecimiento más acelerado; es decir, resultados como estos podrían indicar la necesidad de ajustar el espaciamiento en función de los objetivos de producción o las limitaciones espaciales del cultivo. A los 40 días se registró la tasa de crecimiento más elevada; en esta fecha las plantas alcanzaron una altura promedio de 185.6 cm; fue en el T6 (separadas a 70 cm) donde se registró el valor más alto con una tasa crecimiento de 4.64 cm/día. Por el contrario, las plantas del T4 (separadas a 50 cm) alcanzaron una altura promedio de 252.7 cm con una tasa de crecimiento de 2.72 cm/día.

En la cosecha (96 días) las plantas con mayor altura se registraron en el T5 (separadas a 60 cm) con un promedio de 271.7 cm; mientras que en el T1 se presentaron los valores más bajos de altura (231.2). No se registraron diferencias significativas entre tratamientos ( $CV=8.63$ ). Como se muestra en la [Figura 2](#), existe un grado aceptable de correlación o asociación ( $r=0.7983$ ;  $n=6$ ) entre el distanciamiento entre plantas y la altura de esta; es decir, a medida que se aumentó la distancia entre plantas, también se incrementó la altura de esta. La curva de regresión para la variable altura de planta y distancia entre plantas se ajustó a un modelo cuadrático ( $R^2=0.8754$ ).

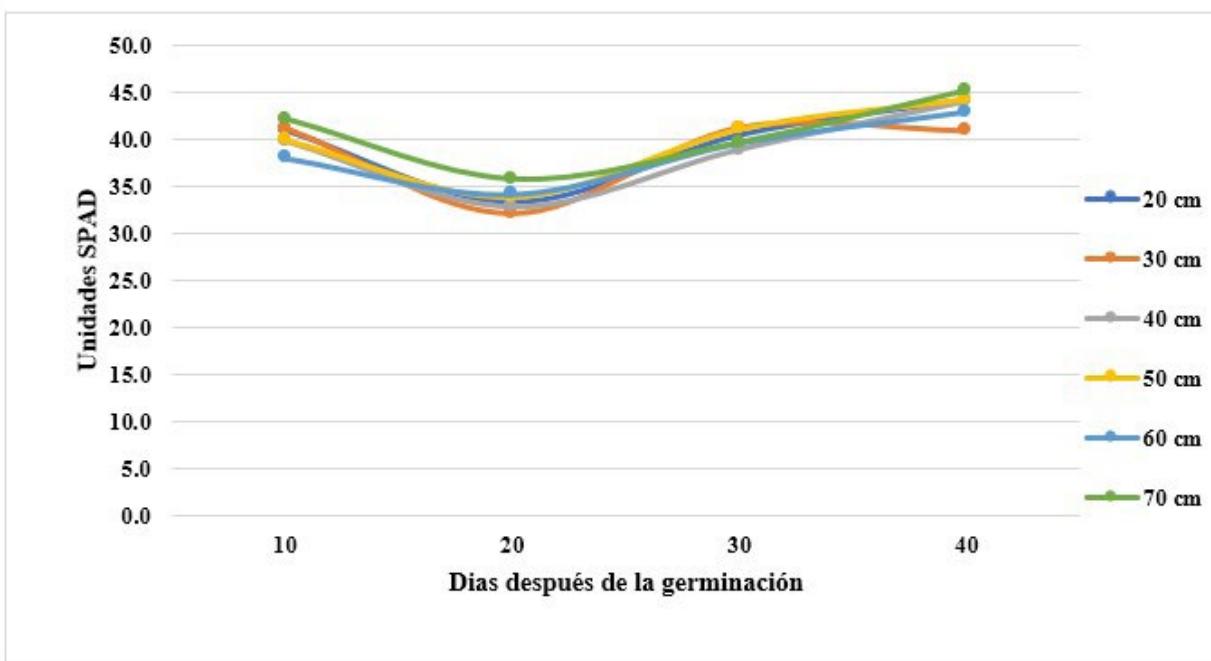


**Figura 2.** Curva de regresión entre la altura de planta y la distancia entre plantas registrado para frijol variedad Negro Jamapa cultivado en ambiente protegido a diferentes distancias de siembra en el centro del estado de Veracruz.

Los resultados obtenidos de esta investigación y a la falta de diferencia significativa entre tratamientos concuerdan con lo citado por [Casanova et al. \(2012\)](#), quienes señalan que la expresión de la altura de la planta se atribuye principalmente a efectos genéticos y no tanto a otros factores. En cuanto a [Hurtado et al. \(2018\)](#) señalaron que el frijol sembrado a altas densidades, la producción de biomasa y rendimiento de grano se ve afectada por la competencia ejercida por las otras plantas o especies. Este comportamiento señalado no fue válido para la densidad correspondiente a una separación de 70 cm (T6) a pesar que la planta registró mayor altura que los Tratamientos 3, 4 y 5, con plantas separadas a 40, 50 y 60 cm, respectivamente (Figura 1).

#### Unidades Spad (clorofila)

Tal como se muestra en la [Figura 3](#), el T6 (separado a 70 cm) a los 10 días después de la germinación (DDG), obtuvo un promedio de 42.2 unidades spad más alto que todos los tratamientos evaluados; la separación entre plantas de 20 cm y 30 cm mostraron comportamientos similares de 41.1 y 41.2 unidades. La segunda medición se realizó a los 20 DDG donde el T6 (separado a 70 cm) obtuvo nuevamente el valor más alto, pero ahora mostrando 35.9 unidades spad. Al hacer una comparación con la primera medición realizada a los 10 DDG, el T6 muestra 6.3 unidades spad menos. Para esta fecha, el T2 (30 cm separación entre plantas) registró el valor promedio más bajo (32.1 unidades spad), seguidos por los T3 (separado a 40 cm) y T1 (separado a 20 cm). En el transcurso de los 10 y 20 DDG, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos



**Figura 3.** Unidades spad de planta a los 10, 20, 30 y 40 días después de la germinación para la variedad Negro Jamapa, cultivada en ambiente protegido a diferentes densidades de siembra, en el centro del estado de Veracruz.

A partir de los 30 días se observó que los tratamientos con menor clorofila fueron las plantas de los T3 (40 cm separación entre plantas) y T5 (60 cm separación entre plantas) con promedios de 39.0 y 39.7 respectivamente. El T4 (50 cm separación entre plantas) aumentó 7.2 unidades spad más que en los 20 DDG hasta alcanzar un valor promedio de 41.1. No se encontraron diferencias significativas para esta fecha.

La última medición se realizó a los 40 DDG; obteniendo en todos los tratamientos promedios por arriba de 40 unidades spad, el T6 (separado a 70 cm) con 45.2 fue el mayor promedio registrado, mientras que el T2 (30 cm) obtuvo 40.9 unidades (valor menor que el registrado a los 30 DDG). Los resultados en el análisis de varianza muestran que no hay diferencias significativas en los tratamientos evaluados (distancias entre plantas) en el cultivo de frijol variedad Jamapa. Para esta fecha el coeficiente de variación de 43.7 %. [Urbina-Briceño et al. \(2023\)](#) mencionan en su investigación, donde evaluaron diferentes densidades de siembra en el cultivo de maíz, encontrando que en la variable clorofila presentó diferencias significativas, los mayores promedios se obtuvieron con la densidad de 71, 000 plantas/ha. Los resultados del análisis estadístico de este trabajo no coinciden con los mencionados por los autores antes citados, debido a que no se encontró diferencia significativa entre las distancias de siembra evaluadas, aunque [Ríos et al. \(2019\)](#) señalan que al sembrar más plantas en un área determinada puede dar lugar a que el contenido de clorofila se reduzca en las hojas, esto derivado por la competencia de nutrientes.

#### Variables asociadas al rendimiento

Los resultados obtenidos en este experimento muestran el comportamiento de algunas variables asociadas al rendimiento, en respuesta a diferentes distancias entre plantas de frijol Negro Jamapa, bajo las condiciones de ambiente protegido ([Tabla1](#)). En este sentido, La densidad de siembra y el espaciamiento entre plantas son factores determinantes en el rendimiento del frijol negro (*Phaseolus vulgaris L.*), ya que afectan la competencia por recursos esenciales como agua, nutrientes y luz solar. En este sentido, diversos estudios han mostrado que distancias más estrechas entre plantas pueden aumentar la densidad de población por metro cuadrado, lo que a menudo incrementa el rendimiento total en áreas pequeñas; sin embargo, puede reducir el rendimiento individual por planta debido a la competencia más intensa. De acuerdo con la investigación de [Calero et al. \(2018\)](#), un espaciamiento de 15 cm entre plantas maximiza el rendimiento por metro cuadrado en suelos de condiciones moderadas, logrando una producción promedio de 200 gramos por metro cuadrado, en comparación con 150 gramos obtenidos a una distancia de 20 cm entre plantas.

En otro estudio realizado por [Calero et al. \(2018\)](#) encontraron que, en condiciones de alta fertilidad y riego adecuado, una distancia de 10 cm entre plantas permitió obtener mayores rendimientos por área (hasta 250 gramos por metro cuadrado); no obstante, esta alta densidad también incrementó la incidencia de plagas y enfermedades, lo cual disminuyó la calidad de la cosecha; por el contrario, distancias mayores, como 25 cm entre plantas, favorecieron un mayor desarrollo vegetativo por planta, pero resultaron en un rendimiento total inferior, de aproximadamente 120 gramos por metro cuadrado, debido al menor número de plantas en la parcela ([Huerta Lara et al. \(2021\)](#)). Finalmente, la decisión sobre el espaciamiento óptimo debe considerar no solo el rendimiento total por metro cuadrado, sino también las condiciones específicas del suelo y la disponibilidad de insumos agrícolas. Como sugieren [Rocha et al. \(2022\)](#), la siembra a 15-20 cm de separación en siembras a cielo abierto, podría ser una estrategia óptima en sistemas de bajo insumo, donde la gestión de plagas y enfermedades es más limitada y donde la competencia por nutrientes debe ser reducida para maximizar la eficiencia del cultivo.

**Tabla 1.** Variables de producción en cosecha de frijol, variedad negro Jamapa, cultivada en ambiente protegido a diferentes densidades de siembra, en el centro del estado de Veracruz.

No. Trat.	Separación entre plantas (cm)	No. Vainas	Peso de vainas con granos (g)	No. Granos por vaina	Peso de 100 granos (g)	Peso de grano (g)	Rendimiento (g/m2)
1	20	45.33	61.34	6.26 a	20.02 bc	47.56	475.56
2	30	53.78	70.33	6.00 a	18.41 a	55.12	367.48
3	40	63.22	88.29	6.33 b	20.96 c	71.79	358.94
4	50	80.33	108.32	6.32 b	19.31 ab	86.43	345.73
5	60	97.89	140.67	6.26 a	20.18 bc	108.41	361.37
6	70	83.33	121.77	6.71 b	19.91 bc	96.6	276.92
Promedio		70.65	98.45	6.31	19.8	77.65	364.33
Significancia		NS	NS	*	*	NS	NS
Coeficiente de variación		33.5	36.41	3.51	3.89	37.9	32.09

NOTA: Para cada columna, letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos a una probabilidad de 0.05.  
NS= no significativo, \*= significativo

#### Número de vainas

A medida que la separación entre surcos se incrementó, el número de vainas por plantas también aumentó. Las plantas sembradas a una separación de 70 cm (T6) produjeron 14.56 % menos vainas que las plantas sembradas a 60 cm (T5). El arreglo topológico que produjo mayor producción de vainas (97.9) fue el de 60 cm entre plantas (T5), mismo que produjo 116.11 % más vainas que las plantas establecidas a 20 cm; es decir, 52.57 vainas más que las obtenidas en el tratamiento con menor distancia.

El número de vainas producidas a las separaciones de 30 cm y 40 cm fueron muy similares a las obtenidas a una distancia de 20 cm; las plantas espaciadas a 40 cm produjeron 17.89 y 9.4 más vainas que las sembradas a 20 cm y 30 cm, respectivamente. A pesar de las diferencias citadas anteriormente, el análisis de varianza no registró un aumento significativo en la producción de vainas entre los tratamientos evaluados; por tal razón, es posible concluir que las distancias entre plantas probadas en este experimento no influyeron positivamente en el número de vainas producidas por plantas ([Figura 4](#)).



**Figura 4.** Vainas en planta de frijol variedad Negro Jamapa, cultivada en ambiente protegido a diferentes densidades de siembra, en el centro del estado de Veracruz.

Los resultados de este trabajo concuerdan con citado por [Lépiz et al. \(2010\)](#); [Morales-Santos et al. \(2017\)](#), quienes señalan que aun cuando no se detectaron diferencias significativas para número de vainas por planta y para número de semillas por fruto, la tendencia de menores valores en las poblaciones se puede atribuir al efecto de compensación entre los componentes del rendimiento; es decir, al aumentar las dimensiones de vaina y grano en la planta, se reduce el número de frutos y de granos por vaina.

Por otra parte, para [Contreras Pabón \(2023\)](#); [Rodas et al. \(2018\)](#), estas diferencias significativas se debieron a que la competencia es más crítica a densidades mayores mostrando una reducción en el número de vainas por planta, ya que compiten por luz, nutrientes, agua,  $\text{O}_2$  y así para poblaciones menores en las cuales se contó con más espacio para su mejor desarrollo, por lo tanto, expresar su potencial y producir más vainas por planta.

### Número de granos por vaina

Con respecto a los seis tratamientos con las variables número de granos por vaina y peso de 100 granos fueron estadísticamente significativas con un coeficiente de variación de 3.51 y 3.89 respectivamente, además de un promedio de 6.31 y 19.80.

Materia seca. En cuanto a la variable, el menor peso corresponde al T1 con la separación entre plantas de 20 cm con un peso de 11.53 g, seguido del T2 (distancia entre plantas de 30 cm) con 13.55 g respectivamente. El valor más alto corresponde a la separación entre plantas de 70cm (T6) con 34.70 g junto con el T5 separación entre plantas de 60 con 23.42 g, con un total en el coeficiente de variación de 53.58, obteniendo como resultado una variable no significativa ([Tabla 2](#)). Por lo tanto, [Romero-Félix et al. \(2021\)](#) y [Monge-Pérez et al. \(2023\)](#) reportaron que el frijol sembrado a bajas densidades la producción de materia seca pudo tener un efecto de competencia que impidió que expresaran su potencial en la producción de biomasa. Estos resultados concuerdan con lo reportado por [Tosquy et al. \(2020\)](#) donde corroboran que la materia seca sin grano no se relaciona con el rendimiento del frijol, debido a producciones de biomasa estadísticamente similares.

**Tabla 2.** Producción de materia verde, materia seca y peso de raíz de las plantas de frijol variedad Negro Jamapa, cultivada en ambiente protegido a diferentes densidades de siembra, en el centro del estado de Veracruz.

No. Trat.	Separación entre planta (cm)	Materia seca (g)	Peso de vainas	Peso de tallos	Peso	Suma total
			sin grano (g)	y hojas (g)	de raíz (g)	
1	20	11.53	13.62	46.38	2.91	62.91
2	30	13.55	15.61	50.14	4.04	69.8
3	40	19.99	19.21	88.37	5.86	113.43
4	50	18.43	25.52	75.42	8.53	109.48
5	60	23.42	31.09	97.21	8.53	136.83
6	70	34.70	25.99	130.49	8.03	164.51
Promedio		20.27	21.84	81.34	6.32	109.49
Significancia		NS	NS	NS	NS	NS
Coeficiente de variación		53.58	35.67	62.31	85.15	55.85

NOTA: Para cada columna, letras diferentes muestran diferencias significativas entre tratamientos a una probabilidad de 0.05. NS= no significativo, \*= significativo

Peso de tallos y hojas. Otro componente de los residuos de cosecha son los tallos y las hojas que son desechados al momento del desgrane. Para ambas variables, análisis de varianza no reportó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El coeficiente de variación obtenido en esta variable fue de 62.31 %, valor que puede ser considerado como alto para las condiciones en que se desarrolló el experimento, además de que se observa que a mayor distancia entre plantas mayor peso de la variable hoja y tallo.

Por otra parte, los datos obtenidos muestran que la separación entre plantas de 70 cm (T6) produjo un promedio más alto en peso de tallos y hojas con un promedio de 130.49 g/planta, mientras que el T1 (20 cm separación entre plantas) sólo produjo 46.38 g/planta colocándose como el valor con menos producción de hoja y tallo.

Peso de raíz. La separación entre plantas que obtuvo un promedio menor fue el T1(20 cm separación entre plantas) con 2.91 g/planta, seguido del T2(30 cm separación entre plantas) con 4.04 g/planta en peso de raíz. El T4(50 cm separación entre plantas) y T5 (60 cm separación entre plantas) presentaron igualdad en peso de raíz con 8.53 g/planta, promedio más alto que los demás tratamientos. No se encontró diferencias significativas en las densidades de siembra evaluadas en esta variable.

## Conclusiones

El mejor rendimiento de grano cosechado fue para las siembras a 20 y 30 cm entre plantas con 475.56 y 367.46 g/m<sup>2</sup>; mientras que cuando se incrementó la distancia de siembra (60 a 70 cm), se incrementó en un 12 % el número de granos por vaina. La distancia de siembra entre plantas que presentaron el mayor número de vainas por planta fue la realizada a 60, 70 y 50 cm con 98, 83 y 80 vainas por planta.

## Declaraciones

**Fondos:** Este estudio no fue financiado.

**Conflictos de intereses:** Los autores no tienen intereses financieros o no financieros relevantes que revelar.

**Cumplimiento de estándares éticos:** No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.

**Contribuciones de autor:** A. C. B. Conceptualización, redacción y análisis. M. A. R. C. Introducción y apoyo en trabajo de campo. R. Z. L: Trabajo de campo y metodología. C. J. L. C. Revisión y edición. G. L. R. Toma de datos y Resultados y discusión. D. J. P. L. Redacción de borrador original y conclusiones. E. O. J. Apoyo en trabajo de campo y búsqueda de información. L. A. O. M. Búsqueda y organización de literatura citada, y apoyo en trabajo de campo

**Disponibilidad de datos:** Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

## Literatura citada

Alejo, S. G., Contreras, M. E., Bugarin, M. R., Jiménez, M. V., & Sánchez, M. A. L. (2011). *La agricultura protegida en el estado de Nayarit*. <http://aramara.uan.mx:8080/handle/123456789/2170>

Calero, A., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y., & Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, 7(1), 88-100. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.67773>

Casanova, L., Solarte, J., & Checa, O. (2012). Evaluación de cuatro densidades de siembra en siete líneas promisorias de arveja arbustiva (*Pisum sativum L.*). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 129-140.

Contreras Pabón, B. C. (2023). *Establecimiento de un sistema productivo de frijol variedad Cargamanto rojo "Phaseolus vulgaris" bajo técnicas de manejo agronómico en el municipio de Pamplona, Norte de Santander como modelo de desarrollo productivo en la región*.

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adecuarlo a las condiciones de la República Mexicana)* , (4<sup>a</sup> ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.

Hurtado, A. C., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y., & Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 88-100.

Huerta Lara, M., Reyes López, D., Bautista Calles, J., Hernández Zepeda, J. S. Parraguirre-Lezama, J. F., Romero-Arenas, O. (2021). Supervivencia y rendimiento de variedades de frijol con resistencia horizontal a estrés hídrico en la Sierra Nororiental de Puebla. *Nutrición Saberes*, 13(3), 1–21. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2920>

Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA). (2022). *Manual para la producción de frijol*. <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Frijol/Manual%20de%20producción%20de%20frijol%20ICTA.pdf>

Lépiz, I. R., López, A. J. J., Sánchez, G. J. J., Santacruz, R. F., Nuño, R. R., & Rodríguez, G. E. (2010). Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(1), 21-28. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.1.21>

López, R., & Sánchez, M. (2022). Impacto del espaciamiento en el crecimiento vegetativo de plantas de maíz. *Revista de Agronomía Experimental*.

Martínez, J. (2023). Producción y consumo de legumbres en México. *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural*. <https://www.sader.gob.mx/>

Monge Pérez, J., Oreamuno-Fonseca, P., & Loría-Coto, M. (2023). Efecto de densidad de siembra en la producción de frijoles nativos. *I+D Tecnológico*, 19(2), 15-23. <https://doi.org/10.33412/idd.v19.2.3807>

Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., & Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51(1), 43-62.

- Pérez, A., & Ramírez, J. (2018). Análisis del rendimiento de frijol negro bajo diferentes espaciamientos en sistemas de secano. *Ciencias Agrarias*, 45(4), 297-305.
- Ríos, M. J., Gómez-Martínez, J., Aguilar, R. E. B., & Matamoros, C. J. G. (2019). Fertilización sintética y orgánica y su efecto en la producción de maíz, variedad Nutrinta Amarillo. *La Calera*, 19(32), 41-47. <https://doi.org/10.5377/calera.v19i32.8439>
- Rocha, R. S., da Costa Jaeggi, M. E. P., da Cruz, D. P., Pereira, I. M., de Amaral Gravina, G., Batista, J. N., & Daher, R. F. (2022). Influence of Organic Fertilization on Agro-morphological Traits and Mineral Nutrient Content in Bean Grains. *Journal of Agricultural Science*, 14, article 3. <https://doi.org/10.5539/jas.v14n3p1>
- Rodríguez Ramírez, L., Juárez Rosete, C. R., & Aguilar Castillo, J. A. (2018). Tecnología de la horticultura protegida en el estado de Nayarit, México.
- Rodríguez, L., Pérez, R., & Morales, A. (2019). Incidencia de la distancia entre plantas en el rendimiento y calidad del frijol negro en condiciones de riego. *Investigación y Desarrollo en Agricultura*, 11(1), 33-40.
- Rodas, G. A. T., Cabrera, E. R. I., & Vásquez, W. D. G. (2018). Efecto de densidades de siembra en el rendimiento del frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) ICTA Hunapú Precoz en el altiplano de Huehuetenango.
- Romero-Félix, C. S., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Martínez-Rueda, C. G., Miranda-Colín, S., & Aguilar-Rincón, V. H. (2021). Rendimiento y biomasa acumulada en frijol común bajo riego y secano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1363-1376. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i8.2682>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). Estima Agricultura crecimiento de 11.4% de la producción de frijol en 2021; mantiene tendencia al alza. *Prensa*. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/estima-agricultura-crecimiento-de-11-4-de-la-produccion-de-frijol-en-2021-mantiene-tendencia-al-alza>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023). Producción y consumo de legumbres en México. <https://www.sader.gob.mx/>
- Tosquy, V. O. H., Zetina, L. R., López, S. E., Ibarra, P. F. J., Villar, S. B., & Rodríguez, R. J. R. (2020). Comparación de genotipos de frijol negro opaco en suelos ácidos del sur de Veracruz. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 91-102. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.411>
- Urbina-Briceño, C. , Vargas-Rojas, J. C., Vega-Villalobos, E. V. , Alvarado-Hernández, A. , Cabalceta-Aguilar, G. , & Garbanzo-León, G. . (2023). Productividad de maíz (Diamantes 8843) bajo diferentes densidades de siembra y dosis de potasio . *Agronomía Costarricense*, 47(1). <https://doi.org/10.15517/rac.v47i1.53969>