

Caracterización agronómica de genotipos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) en siembra vertical y ambiente protegido en Veracruz

Agronomic characterization of black bean (*Phaseolus vulgaris*) genotypes under vertical planting and Protected environment in Veracruz

Capetillo-Burela A.¹, Zetina-Lezama R.^{1*}, Reynolds-Chávez M. A.¹, López-Collado C. J.², Ortega-Jimenez E.², Lopéz-Romero G.², Palma-Lopéz D. J.³, Osorio-Magdalena L. A.¹

-  Capetillo-Burela. A.
Capetillo.angel@inifap.gob.mx
-  Zetina-Lezama. R.
zetina.rigoberto@inifap.gob.mx
-  Reynolds-Chávez. M. A.
Reynolds.marco@inifap.gob.mx
-  López-Collado. C. J.
cjlc2000@hotmail.com
-  Ortega-Jimenez. E.
eortegaj@colpos.mx
-  Lopéz-Romero. G.
gustavolr@colpos.mx
-  Palma-Lopéz D. J.
dapalma@colpos.mx
-  Osorio-Magdalena L. A.
183s0157@itsta.edu.mx

Autor de correspondencia: **zetina.rigoberto@inifap.gob.mx**

¹ Campo Experimental Cotaxtla-CIRGOC-INIFAP. Km 34.5 Carretera Federal Veracruz Córdoba, Medellín de Bravo, Veracruz, México.

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

³ 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.20, 2024

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 14 Septiembre, 2024

Aprobación: 03 Diciembre 2024

URL: https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REB_ICAMCLI/article/view/1088

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v10i20.21910>

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.



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

Resumen

Antecedentes: El cultivo de frijol negro en Veracruz enfrenta múltiples desafíos desde el manejo agronómico, las condiciones climáticas y fitosanitarias, lo que impacta en la rentabilidad de los productores, ante esto se requiere una combinación de estrategias que incluyan el uso de tecnologías adecuadas, la adopción de variedades mejoradas. El objetivo de la investigación fue caracterizar y evaluar la producción de 13 variedades de frijol tipo Jamapa sembrada de forma vertical en ambiente protegido.

Metodología: El diseño experimental fue de bloques completos al azar con 12 tratamientos (Negro Ruby, N. Veracruz, N. Huasteco-81, N. Jamapa-CECOT, N. INIFAP, N. Papaloapan, N. Tacaná, N. 8025, N. Tropical, N. Verdín, N. Cotaxtla, N. Comapa y N. Medellín), y con tres repeticiones. Las variables evaluadas fueron unidades Spad (clorofila), altura de planta, número de vainas, número de granos por vainas, peso de 100 granos, materia seca y rendimiento. Resultado: Se encontraron diferencias estadísticas en las variables de altura de planta con las variedades Negro Comapa y Negro Papaloapan con 2.53 y 2.46 m de altura; el mayor número de vainas por planta fueron para el N. Rubí, N Tropical, N. Cotaxtla 91, N Papaloapan, N. Comapa e INIFAP con 25.72, 26.11, 25.39, 28.05, 30.55 y 31.89. El mayor rendimiento grano fue para los genotipos N. Comapa, Rubí, N. Papaloapan e INIFAP con 157.00, 163.61, 157.00 y 183.06 g por planta. **Conclusión:** Se concluye que la siembra vertical en ambiente protegido es una excelente alternativa para producir frijol para pequeños productores del trópico mexicano.

Palabras claves: Producción, rendimiento, tutoreo, distancia de siembra, fabaceae

Abstract

Background: Background: Black bean cultivation in Veracruz faces multiple challenges, from agronomic management to climatic and phytosanitary conditions, which impact producers' profitability. Therefore, a combination of strategies is needed, including the use of appropriate technologies and the adoption of improved varieties. The objective of this research was to characterize and evaluate the production of 13 Jamapa-type bean varieties planted vertically in a protected environment. **Methodology:** The experimental design was a randomized complete block design with 12 treatments (Negro Ruby, N. Veracruz, N. Huasteco-81, N. Jamapa-CECOT, N. INIFAP, N. Papaloapan, N. Tacaná, N. 8025, N. Tropical, N. Verdín, N. Cotaxtla, N. Comapa, and N. Medellín), and with three replications. The variables evaluated were Spad units (chlorophyll), plant height, number of pods, number of grains per pod, 100-grain weight, dry matter, and yield.

Results: Statistically significant differences were found in plant height between the Negro Comapa and Negro Papaloapan varieties, with heights of 2.53 and 2.46 m, respectively. The highest number of pods per plant was observed in the N. Rubí, N. Tropical, N. Cotaxtla 91, N. Papaloapan, N. Comapa, and INIFAP varieties, with 25.72, 26.11, 25.39, 28.05, 30.55, and 31.89 pods per plant, respectively. The highest grain yield was also observed in the N. Comapa, Rubí, N. Papaloapan, and INIFAP varieties, with 157.00, 163.61, 157.00, and 183.06 g per plant, respectively. **Conclusion:** It is concluded that vertical planting in a protected environment is an excellent alternative for producing beans for small producers in the Mexican tropics.

Keywords: Production, performance, tutoring, planting distance, fabaceae

Introducción

En México, el frijol negro representa el 22% de la producción total de frijol, ya que esta leguminosa se cultiva en casi todas las regiones productoras del país; sin embargo, su consumo es más elevado en el Altiplano Central y el Sureste de México ([Raya-Pérez et al., 2014](#), [Rosales et al., 2003](#), [Tosquy Valle et al., 2017](#)). Además, que representa gran importancia a nivel mundial, debido que se considera como una alternativa sostenible y menos costoso que la carne por ser la segunda fuente con proteína después de los cereales ([Maphosa y Jideani, 2017](#)).

En los estados de Veracruz y Chiapas, México, el cultivo de frijol enfrenta una disminución en sus rendimientos debido a la incidencia de enfermedades virales ([Morales & Jones, 2004](#)). En las zonas tropicales, factores como el mosaico amarillo dorado, la sequía y la acidez del suelo afectan significativamente la producción de esta leguminosa. ([Tosquy et al., 2022](#)). Según [Gross et al. \(2006\)](#). La mayoría de los productores de frijol emplea variedades y densidades de siembra inadecuadas, generalmente por debajo de las recomendaciones proporcionadas por instituciones públicas y privadas del país; lo cual, provoca que las plantas compitan entre sí, generando invasión entre variedades, daños vegetativos como quiebres y desprendimiento de hojas, lo que se traduce en bajos rendimientos ([Rosales-Serna et al., 2004](#)).

La agricultura en ambiente protegido es aquella que se realiza bajo condiciones en las cuales el productor puede controlar algunos factores del medio ambiente, bajo este sistema especializado los productores logran productos de excelente calidad, en cualquier época del año, sin daños por factores climáticos y mucho menos por plagas y enfermedades ([Kittas et al., 2004](#)).

La tecnología para la producción en ambiente protegido como invernaderos, casa sombra, macro túnel, entre otros, están diseñadas para incrementar el rendimiento de un cultivo pero su implementación exitosa requiere de productores o asesores con visión empresarial, iniciativa y creatividad para adecuarla a las condiciones de una localidad, y nivel de conocimiento adecuado de la técnica; es decir, bien capacitados, con el capital necesario, disponibilidad de equipo, insumos y servicios como la asesoría técnica calificada y, sobre todo, de un contexto (precio de venta, mercado y calidad) que garantice su rentabilidad económica ([Sánchez et al., 2017](#)).

Los agricultores generalmente utilizan una sola variedad de frijol local sin conocer que en el mercado e instituciones, se encuentran una gran diversidad de genotipos promisorios de frijol negro tipo Jamapa; Así mismo, también siembran su semilla en una densidad específica ya que para ellos entre más plantas se encuentren en el terreno se piensa que más grano se cosecha ([Acosta-Gallegos et al., 2007](#)); por lo que la densidad de plantas de frijol según [Jiménez y Acosta \(2013a y b\)](#), es uno de los factores responsables de la baja producción y rentabilidad de frijol, en el norte de México existen reportes de densidades óptimas para frijol de riego de 40 a 45 kilogramos por hectárea; sin embargo, los productores siguen sembrando y cosechando a una densidad muy por debajo de las recomendadas que van de 20 a 30 kilogramos por hectárea.

En este sentido, la densidad de siembra en cualquier tipo de variedades de frijol negro tipo Jamapa en ambiente protegido se encarga de proporcionar la cantidad de plantas que se establecen en una determinada área de terreno, el uso de esta técnica en los cultivos es una herramienta indispensable para el inicio de una siembra exitosa, ya que permite estimar a qué distancia entre plantas se colocaran para obtener un máximo rendimiento de semilla. [Hurtado et al. \(2018\)](#) mencionan que la densidad de siembra de cualquier variedad de frijol consiste en mejorar la distribución de las semillas en el espacio, para incrementar los rendimientos, con una densidad correcta la planta obtiene un mejor desarrollo vegetativo esto dependerá también del suelo, variedad de semilla y el ambiente agroecológico.

Como una alternativa de bajo costo que aproveche el equipamiento existente y reactive la economía de los productores, se evaluaron 13 variedades de frijol negro "tipo Jamapa" en una casa sombra ubicada en la región Costera del Golfo de México (Región del Sotavento), Veracruz. El objetivo fue analizar el comportamiento y la caracterización agronómica de estas variedades en condiciones de ambiente protegido y bajo un manejo vertical, generando conocimiento que permita, a corto plazo, apoyar a pequeños productores de frijol en el incremento de sus rendimientos mediante el cultivo vertical.

Metodología

Ubicación del estudio

La investigación realizada es de tipo aplicada; la cual, se llevó a cabo en condiciones de ambiente protegido con un 70% de radiación solar (casa sombra), durante los meses de agosto del 2021 a enero del 2022, en los terrenos del Campo Experimental Cotaxtla, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz; dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en las coordenadas geográficas 18°56'1.8 LN" y 96° 11'35.5" LW. El clima fue tropical cálido subhúmedo, temperatura media anual de 25°C, con una precipitación de 1,293 mm al año y humedad relativa promedio de 87% ([García, 2004](#)).

Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó en esta investigación fue de bloques al azar con 13 tratamientos (Variedades: Negro Ruby, N. Veracruz, N. Huasteco-81, N. Jamapa-CECOT, N. INIFAP, N. Papaloapan, N. Tacaná, N.8025, N Tropical, N. Verdín, N. Cotaxtla, N. Comapa y N. Medellín) y tres repeticiones; las cuales, fueron sembradas en camas a 70 cm entre surcos y 5cm entre plantas respectivamente. Cada repetición consistió en una cama de 18 m de longitud separadas de 1 m de ancho entre cada cama de siembra de una población total 432 plantas; de las cuales, la muestra utilizada por variedad y repetición fue de 5 plantas respectivamente.

Establecimiento del estudio

El manejo agronómico realizado al experimento fue el siguiente: a) Preparación del terreno: Limpieza interna de la casa sombra (bioespacio), subsoleo y rastra del terreno a 30 cm de profundidad; b) elaboración de las tres camas con medidas de 18 m de largo y 1 m de ancho, la altura de dichas camas fue de 15 cm; c) Instalación del riego por goteo; d) Aplicación de 1.5 kg de lombricomposta por m cuadrado de cama en las tres repeticiones; e) Acolchado de camas; f) Tratamiento a la semilla con micorrizas en dosis de 1 kg por hectárea y que alcanza para 40 kg de semilla y que en esta investigación se aplicaron 20 g de micorriza para la semilla sembrada; g) Siembra manual de 3 semillas por punto de siembra de acuerdo a los tratamientos evaluados a una profundidad de 3 cm; las cuales fueron eliminadas algunas con el fin de obtener dos plantas por punto de siembra respectivamente; h) Tutorado de las plantas de frijol, la cual consistió en colocar cañas de olate sujetadas con rafia y posteriormente los alambres de un extremo a otro, esto con el fin de tener un buen desarrollo de la planta y mejores resultados en la producción; i) Deshierbe manual el cual se realizó a los 30 días después de la siembra, una sola vez en todo el periodo productivo del cultivo, utilizando azadón y rastrillo; j) Fertilización de 40-40-00 unidades de NPK; la cual se aplicó en drench a partir de los 15 días después de la germinación y hasta el término del llenado del grano distribuida en cuatro aplicaciones. La dosis aplicada por planta cada 15 días fue de 0.5 g de fosfato diamónico (grado 18-46-0) y 0.5 g de urea, haciendo un total de las 4 aplicaciones de 4 g por planta de la mezcla antes mencionada. Además de la dosis antes mencionada, se realizó la aplicación del fertilizante foliar comercial Humostar, en dosis de 2 mL por litro de agua asperjado al follaje; k) Control de plagas y enfermedades, la cual se realizó a los 6 días de la siembra debido a la presencia de "gusano cogollero" Spodoptera frugiperda Smith (Lepidóptera: Noctuidae), y que fue controlado con aplicaciones de Imidacloprid + Betacyflutrin al 1%. En la prevención de aparición de hongos, se realizaron 2 aplicaciones en el periodo productivo del cultivo de fungicida benomilo al 1%.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas en esta investigación fueron las siguientes: a) Altura de planta. Se tomaron cinco plantas por tratamiento y repetición y se midió cada 15 días con un estadal graduado desde la base de la planta hasta la última hoja fotosintéticamente activa. B) Clorofila. Se realizó cada 10 días con un medidor portátil de clorofila denominado SPAD 502 Plus Minolta; la cual se midió en tres plantas por tratamiento y repetición en el segundo tercio de la misma. C) Número de vainas por planta. Esta variable se realizó en la cosecha del experimento de manera manual contando el número de vainas de tres plantas por tratamiento y repetición respectivamente. D) Granos por vaina. En las tres plantas seleccionadas de cada tratamiento y repetición se contó el total de número de granos en 10 vainas, eligiendo al azar. E) Materia seca. Esta se realizó colectando partes de tres plantas de los tratamientos y se tomó el peso en fresco y peso seco; utilizando una estufa de aire forzado a 65°C por 72 horas y hasta peso constante. F) Rendimiento. En cada unidad experimental se cosecharon tres plantas con competencia completa. La muestra colectada fue pesada en una báscula digital con precisión de 0.1 g. para obtener el rendimiento por planta y a partir de este dato se obtuvo el rendimiento por m², ajustado al 14% de humedad. G) Manejo postcosecha: Los granos pequeños, fuera de tipo, color diferente y las impurezas fueron eliminados en forma manual. Posteriormente se determinó el porcentaje de humedad del grano con un medidor portátil. H) Análisis de rentabilidad. Se realizó por componente tecnológico un análisis de beneficio/costo considerando el valor de renta por el tiempo ocupado del invernadero, los costos de producción y la depreciación del equipo basándose en la metrología establecida por el CIMMYT, (1988).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico AGROSTAT de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 2016); el cual se consideró exclusivamente el análisis de varianza y prueba de comparación de medias respectivamente.

Resultados y discusión

En la Tabla 1, se observan los cuadrados medios y la significancia encontrada en las variables evaluadas en 13 variedades de frijol durante el ciclo de producción otoño-invierno 2021-2022, encontrando diferencias estadísticas en las variables de altura de planta, longitud de entrenudos, producción de materia seca, vainas por planta, longitud de semilla, ancho y grosor y peso de semilla, así como en rendimiento; mientras que la variable que no mostró diferencias estadísticas significativas fue la longitud de las vainas. Lo antes encontrado se debe principalmente a que todas las variedades evaluadas tuvieron el mismo manejo agronómico desde la siembra hasta la cosecha; lo cual el efecto que se observó durante el crecimiento y desarrollo y producción fue básicamente el potencial genético de cada variedad producido en condiciones de ambiente protegido y manejado de forma vertical. Muñoz-Perea et al. (2006), evaluaron en una investigación con variedades de frijol, variables como el rendimiento y características morfológicas, encontrando diferencias genéticas en el rendimiento y crecimiento de diferentes variedades bajo un manejo agronómico uniforme. En lo que respecta a la variable peso de 100 semillas, se encontró que lo encontrado en esta investigación se relaciona con lo encontrado por Lamz-Piedra et al. (2017); Rosales-Serna et al. (2019) que en semilla de frijol negro Jamapa tuvieron un comportamiento de 25 gramos por cada 100 semillas ajustadas al 14 % de humedad.

Tabla 1. Cuadros medios y significancia estadística detectada de variables cuantificadas en genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

FV	GL	Altura de planta (m)	Longitud de entrenudos (cm)	Producción de materia seca (g)	Vainas por plantas	Longitud de Vainas (cm)
Tratamientos	12	0.4996 **	9.8857 **	3.7654 **	72.2005 **	0.5175 ns
Bloques	2	0.0088	1.0098	2.5231	54.6133	0.067
Error	24	0.0162	1.6587	1.0745	15.8905	0.2534
Total	38					
CV (%)		6.41	12.54	13.23	16.69	5.46
Longitud de semilla						
Tratamientos	12	0.4582 **	0.2399 **	0.1414 **	6.4601 **	2982.172 **
Bloques	2	0.0515	0.0461	0.0843	0.8916	71.812
Error	24	0.149	0.0466	0.0458	0.439	244.091
Total	38					
CV (%)		3.73	3.37	4.5	3.07	11.51

* P ≤ 0.05; **P ≤ 0.01; ns = No significativo.

Por otro lado, en la Tabla 2 se muestran los resultados de los genotipos estadísticamente superiores de acuerdo a la Diferencia Mínima Significativa (0.05) de las variables altura de planta, longitud de entrenudos, materia seca, vainas por planta y longitud de vainas respectivamente; en la cual se puede observar que las variedades de menor altura fueron la Negro Veracruz y Negro Ruby con 1.16 y 1.36 m respectivamente; mientras que las más sobresalientes en esta misma variable fueron la variedad Negro Comapa y Negro Papaloapan con 2.53 y 2.46 m de altura respectivamente.

En estudios previos, se ha observado que ciertas variedades, como la Negro Comapa y Negro Papaloapan, destacan en altura de planta, lo cual puede estar asociado con una mayor captación de luz y potencial productivo en ambiente protegido (Peña-Valdivia et al., 2016). En este sentido en lo que respecta a la variable longitud de entrenudos hubo similitud entre Negro Veracruz y Negro Rubí con 6.10 y 6.97 cm, mientras que los genotipos restantes fueron los más sobresalientes de entre el rango a partir de 10.24 a 12.32 cm, en comparación con los resultados de materia seca en g en donde las variedades más sobresalientes fueron Verdín, N. INIFAP, N. Tacana, N. Jamapa, N. Papaloapan y N. Comapa con los mejores pesos (8.05, 8.52, 8.70, 9.05, 9.11 y 9.73 g). En la variable número de vainas por plantas (NVP) sobresalieron las variedades Rubí, N Tropical, N Cotaxtla 91, N Papaloapan, N Comapa e INIFAP con 25.72, 26.11, 25.39, 28.05, 30.55 y 31.89, y en cuanto a longitud de vainas todas las variedades se mantuvieron sin diferencias estadísticas significativas. En este sentido, estudios como el de Muñoz-Perea et al. (2006) han señalado que la longitud de entrenudos está determinada tanto por el genotipo como por factores ambientales, influenciando el desarrollo vegetativo de las variedades y su adaptabilidad a condiciones específicas. Asimismo, el número de vainas por planta (NVP) es una variable que impacta directamente en el rendimiento del cultivo y, como se observó en esta investigación, las variedades Rubí, Negro Tropical y Negro Papaloapan tuvieron un mejor desempeño en esta variable. Esto concuerda con investigaciones que han evaluado la correlación entre NVP y rendimiento total, señalando que una mayor producción de vainas contribuye de manera significativa al incremento del rendimiento final del cultivo (Singh et al., 2009).

Tabla 2. Características agronómicas de genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

No.	Genotipo	AP (m)	LE (cm)	MS (g)	VPP	LV (cm)
1	N Cotaxtla 91	2.17	10.27 *	6.83	25.39 *	9.33
2	N Tacaná	2.12	11.23 *	8.70 *	23.8	9.9
3	N INIFAP	2.22	10.24 *	8.52 *	31.89 *	9.24
4	N Papaloapan	2.46 *	10.85 *	9.11 *	28.05 *	9.5
5	N Comapa	2.53 *	11.06 *	9.73 *	30.55 *	9.7
6	N Huasteco81	2.07	11.37 *	7.39	22.44	9.65
7	N Veracruz	1.16	6.1	6.22	14.56	8.51
8	N Medellín	1.74	10.60 *	7.9	17.28	9.09
9	N Jamapa	1.62	9.5	9.05 *	23.06	9.28
10	N Tropical	2.03	11.79 *	6.66	26.11 *	9.22
11	N 8025	2.27	12.32 *	6.72	20.83	8.93
12	Verdín	2.1	11.23 *	8.05 *	20.8	8.58
13	Rubí	1.36	6.97	7.01	25.72 *	8.93
Promedio		1.99	10.27	7.84	23.88	9.22
DMS (0.05)		0.2149	2.1705	1.7469	6.7179	

* Genotipos estadísticamente superiores, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05). AP = Altura de planta. LE = Longitud de entrenudos. MS = Producción de materia seca. VPP = Número de vainas por planta. LV = Longitud de vainas.

En la [Tabla 3](#), se muestran los resultados obtenidos en las variables LS = Longitud de semilla, AS = Ancho de semilla, GS = Grosor de semilla, P100S = Peso de 100 semillas, y RG = Rendimiento de grano; en el cual en lo que respecta a la variable de longitud de semilla los genotipos más sobresalientes fueron N. Comapa y N. Verdín con 10.74 y 11.32 mm, en la variable Ancho de semilla los mejores valores los obtuvieron los genotipos N. Comapa, N. 8025 y Verdín con 6.81, 6.72 y 6.91 mm respectivamente, en comparación con los valores de menor medida para los genotipos N. Huasteco 81, N. Veracruz, N. Jamapa y Rubí con 5.94, 6.1, 6.29 y 6.25 mm.

Estos resultados coinciden con investigaciones previas que han señalado que los parámetros morfológicos de la semilla, como la longitud y el ancho, influyen en la capacidad de adaptación y en el rendimiento de los diferentes genotipos de frijol bajo condiciones específicas de cultivo. Por ejemplo, estudios han demostrado que el tamaño de la semilla está relacionado con la eficiencia en el uso de recursos y con el rendimiento final del grano en diferentes ambientes de cultivo ([Acosta-Gallegos et al., 1998](#)). En cuanto a la longitud y ancho de semilla, los genotipos N. Comapa y N. Verdín sobresalieron, lo cual puede estar vinculado a su mayor capacidad de almacenamiento de nutrientes y, por ende, a una mejor germinación y establecimiento inicial de las plantas en campo, como sugieren otros estudios sobre morfología de semilla y su efecto en el rendimiento ([Rao et al., 2013](#)). Esto es relevante, ya que una mayor longitud y ancho de semilla pueden ser indicadores de un mejor potencial de rendimiento en ambientes controlados, proporcionando una ventaja en términos de productividad. En la variable grosor de semilla se observa diferencia altamente significativa N. Cotaxtla 91, N. Tacana, N. Papaloapan, N. Comapa, N. Tropical, N. 8025 y Verdín (4.80, 4.84, 4.86, 4.98, 4.80, 4.94 y 5.12 mm) en comparación con N. INIFAP, N. Huasteco 81, N. Veracruz, N. Medellín, N. Jamapa y Rubí. En este sentido, en la variable peso de 100 semillas, se encontró que el genotipo N. verdín fue el de mejor promedio en peso con 24.97 g. Esta variable es determinante en la selección de genotipos con alto potencial productivo, ya que el peso de la semilla se ha relacionado con el vigor y la capacidad competitiva de las plantas en diversas investigaciones ([Kumar et al., 2014](#)).

Finalmente, en la variable Rendimiento grano, se destaca que los más sobresalientes fueron para los genotipos N. Comapa, Rubí, N. Papaloapan e INIFAP con 157.00, 163.61, 157.00 y 183.06 g por planta. En este sentido es necesario mencionar que, en un estudio realizado por [Capetillo et al. \(2022\)](#) en siembra de frijol a cielo abierto se produjeron 350 kg por hectárea ajustado al 14% de humedad y libre de granos fuera de tipo, basura y granos quebrados; lo cual, está por debajo de la media nacional que es de 1,483 kg/ha ([SIAP, 2020 y 2021](#)). Caso contrario sucedió en el rendimiento obtenido en ambiente protegido en el cual se tuvo un rendimiento en 300 metros cuadrados de 70 kg ajustado a la humedad antes mencionada; lo cual, estimando este último rendimiento por hectárea de acuerdo a las dimensiones del bioespacio (300 m²) se estimó un rendimiento de 2.33 t/ha; sin embargo, considerando solamente el área de cultivo (150 m²) se estimó un rendimiento 4.66 t/ha.

Tabla 3. Características y rendimiento de semilla de genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

No.	Genotipo	LS (mm)	AS (mm)	GS (mm)	P100S (g)	RG (g)
1	N Cotaxtla 91	10.27	6.42	4.80 *	21.97	153.11
2	N Tacaná	10.22	6.32	4.84 *	22	155.5
3	N INIFAP	9.98	6.31	4.73	20.93	183.06 *
4	N Papaloapan	10.45	6.45	4.86 *	21.77	164.11 *
5	N Comapa	10.74 *	6.81 *	4.98 *	20.67	157.00 *
6	N Huasteco 81	10.25	5.94	4.37	21	116.28
7	N Veracruz	10.01	6.01	4.46	21.47	68.39
8	N Medellín	9.75	6.34	4.47	22.13	98.45
9	N Jamapa	10.11	6.29	4.69	21.07	132.39
10	N Tropical	10.4	6.52	4.80 *	21.37	136.28
11	N 8025	10.5	6.72 *	4.94 *	22.6	122.83
12	Verdín	11.32 *	6.91 *	5.12 *	24.97 *	113.83
13	Rubí	10.44	6.25	4.7	18.3	163.61 *
Promedio		10.34	6.41	4.75	21.56	135.76
DMS (0.05)		0.6506	0.364	0.3606	1.1166	26.3293

* Genotipos estadísticamente superiores, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05). LS = Longitud de semilla. AS = Ancho de semilla. GS = Grosor de semilla. P100S = Peso de 100 semillas. RG = Rendimiento de grano.

Además de lo anterior, se realizó un análisis de correlación entre las variables siguientes: AP = Altura de planta, LE = Longitud de entrenudos, MS = Producción de materia seca, VPP = Número de vainas por planta, LV = Longitud de vainas, LS = Longitud de semilla, AS = Ancho de semilla, GS = Grosor de semilla y RG = Rendimiento de grano ([Tabla 4](#)); en la cual se encontraron diferencias estadísticas significativas entre la variable altura de planta con respecto a la variable longitud de entrenudos número de vainas por planta, longitud de vainas, ancho de semilla, y grosor de semillas respectivamente. El análisis de correlación realizado en este estudio revela relaciones significativas entre las características morfológicas y el rendimiento de los genotipos de frijol evaluados, destacando la influencia de la altura de planta y la producción de materia seca en variables de rendimiento clave.

Estudios previos han demostrado que una mayor altura de planta y longitud de entrenudos están asociadas con un mayor desarrollo estructural, lo cual impacta directamente en la cantidad de vainas y en la eficiencia en la captación de recursos, aspectos críticos para un rendimiento óptimo. Según Beebe et al. (2008), la altura de planta y la arquitectura juegan un papel fundamental en la eficiencia del uso de luz y la productividad del frijol, respaldando los resultados obtenidos. También se encontró una correlación entre la variable Producción de materia seca con respecto a la variable Longitud de vainas y el Número de vainas por planta; lo que sugiere que un mayor crecimiento vegetativo está relacionado con una mayor formación de vainas, lo cual coincide con investigaciones de Ramírez-Vallejo y Kelly (1998). Estos autores han indicado que una mayor acumulación de biomasa suele resultar en un incremento en el número de vainas, reflejando un efecto positivo en la capacidad reproductiva y, en última instancia, en el rendimiento del cultivo. Asimismo, esta última variable (número de vainas por planta), mostró una correlación con la variable longitud de vainas y rendimiento respectivamente. En este sentido, la correlación entre el número de vainas por planta y el rendimiento de grano es un hallazgo consistente con lo observado en estudios como el de White y Singh (1991), quienes destacaron que el número de vainas es uno de los principales componentes de rendimiento en el frijol, directamente relacionado con la productividad final. Esta variable, junto con la longitud y el grosor de las semillas, contribuye al aumento en el peso total del grano, lo cual permite seleccionar genotipos con alto potencial de rendimiento en programas de mejoramiento.

Tabla 4. Coeficientes de correlación y significancia estadística detectada de variables cuantificadas en genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

Variable	LE	MS	VPP	LV	LS	AS	GS	RG
AP	0.83 **	0.50 ns	0.62 *	0.57 *	0.39 ns	0.58 *	0.59 *	0.54 ns
LE		0.30 ns	0.29 ns	0.47 ns	0.30 ns	0.53 ns	0.44 ns	0.24 ns
MS			0.53 ns	0.57 *	0.14 ns	0.29 ns	0.34 ns	0.48 ns
VPP				0.56 *	0.18 ns	0.27 ns	0.42 ns	0.93 **
LV					-0.16 ns	-0.10 ns	0.01 ns	0.56 *
LS						0.74 **	0.78 **	0.12 ns
AS							0.91 **	0.21 ns
GS								0.43 ns

* P ≤ 0.05, **P ≤ 0.01. ns = No significativo. AP = Altura de planta. LE = Longitud de entrenudos. MS = Producción de materia seca. VPP = Número de vainas por planta. LV = Longitud de vainas. LS = Longitud de semilla. AS = Ancho de semilla. GS = Grosor de semilla. RG = Rendimiento de grano.

Conclusiones

La siembra de frijol negro de las 13 variedades evaluadas en ambiente protegido, es una alternativa viable para producir semilla y grano de frijol para pequeños productores del trópico mexicano.

Las variedades que presentaron el mayor rendimiento del grano fue la N. Comapa, Rubí, N. Papaloapan e INIFAP con 157.00, 163.61, 157.00 y 183.06 g por planta.; mientras que en lo concerniente al número de vainas por planta fueron para las variedades Rubí, N Tropical, N Cotaxtla 91, N Papaloapan, N Comapa e INIFAP con 26, 26, 25, 28, 31 y 32 vainas por planta respectivamente.

Declaraciones

Fondos: Este estudio no fue financiado.

Conflictos de intereses: Los autores declaran que No se revelaron intereses contrapuestos

Cumplimiento de estándares éticos: N/A

Contribuciones de los autor: CBA y ZLR: Conceptualización, Metodología, Redacción, Borrador Original, Revisión y Edición, Supervisión, RCMA y PLDJ: Conceptualización, metodología, LCCJ y OMLA: borrador original, revisión y edición, OJIE y LRG: Redacción, Borrador Original, Revisión y Edición.

Disponibilidad de datos: El conjunto de datos analizados en el presente estudio no son de acceso público, pero están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

Literatura citada

- Acosta-Gallegos, J. A., Kelly, J. D., & Gepts, P. (1998). Prebreeding in common bean and use of genetic diversity from wild germplasm. *Crop Science*, 38(3), 643–652. <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800030018x>
- Acosta-Gallegos, J. A., & Kelly, J. D. (2007). Advances in the development of improved dry bean cultivars: Implications for the farming community. *Field Crops Research*, 4, article 35. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035>
- Beebe, S. E., Rao, I. M., Cajiao, C., & Grajales, M. (2008). Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. *Crop Science*, 48(2), 582–592. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.07.0404>
- Capetillo, B. Á., Zetina, L. R., Reynolds, Ch. M. A., Ugalde, A. F. J., Matilde, H. C., Espinoza Del, C. A., Cadena, Z. M., & López, L. J. A. (2022). Producción de frijol a cielo abierto y en ambiente protegido en el centro de Veracruz. En *XXXII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2021 y IX Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical* (pp. 52–57). Tabasco, México.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adecuarlo a las condiciones de la República Mexicana) (4^a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gross, M. R., Von Pinho, R. G., & Brito, A. H. D. (2006). Adubação nitrogenada, densidade de semeadura e espaçamento entre fileiras na cultura do milho em sistema plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, 30, 387-393.
- 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. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.67773>
- Jiménez G., J. C., & Acosta G., J. A. (2013). Efecto de la densidad de cosecha en rendimiento de frijol Pinto Saltillo de riego en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(2), 243–257. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i2.1235>
- Jiménez, A., & Acosta, J. A. (2013). Factores que afectan la producción de frijol en el norte de México: Variedades y densidad de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 1159–1169 . <https://doi.org/10.21046/rmca.v4i6.738>
- Kittas, C., Boulard, T., & Pommier, S. (2004). Greenhouse climate control: Information, guidance and decision support tools. *Biosystems Engineering*, 87(2), 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.02.002>
- Kumar, D., Singh, R., & Sharma, R. (2014). Seed size and shape: A critical determinant of seed quality and field performance. *Indian Journal of Plant Sciences*, 5(3), 92–100.
- Lamz-Piedra, A., Cárdenas-Travieso, R. M., Ortiz-Pérez, R., Eladio-Alfonzo, L., & Sandrino-Himely, A. (2017). Evaluación preliminar de líneas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) promisorias para siembras tempranas en Melena del Sur. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 111–118.
- The International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT Economics Program). (1988). From agronomic data to farmer recommendations: An economics training manual (No. 27). CIMMYT.
- Maphosa, Y., & Jideani, V. A. (2017). The role of legumes in human nutrition. *El Higo Revista Científica*, 9(1), 35–44. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69127>
- Muñoz-Perea, C. G., Terán, H., Allen, D. J., Wright, E. M., & Singh, S. P. (2006). Adaptation of dry bean landraces and improved cultivars to contrasting environments. *Crop Science*, 46(2), 488–497. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.05-0107>
- Morales, F. J., & Jones, P. G. (2004). The ecology and epidemiology of whitefly-transmitted viruses in Latin America. *Virus Research*, 100(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2003.12.014>
- Olivares, S. E. (2016). Métodos estadísticos UANL, Versión 1.7. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Peña-Valdivia, C. B., Trejo, C., & Rivas-Ramírez, M. M. (2016). Physiological and anatomical characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Agricultural Water Management*, 164, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.017>
- Rao, I. M., Beebe, S., Polanía, J., Grajales, M., Cajiao, C., García, R., & Ricaurte, J. (2013). Physiological basis of improved drought resistance in common bean: The contribution of photosynthate mobilization and nutrient uptake. *Frontiers in Plant Science*, 4, article 114. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00114>
- Ramírez-Vallejo, P., & Kelly, J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*, 99(2), 127–136. <https://doi.org/10.1023/A:1018353200015>

- Raya-Pérez, J. C., Gutiérrez-Benicio, G. M., Ramírez-Pimentel, J. G., Covarrubias-Prieto, J., & Aguirre-Mancilla, C. L. (2014). Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 1–11. <https://doi.org/10.15517/am.v25i1.14185>
- Rosales-Serna, R., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J. A., Trejo-López, C., Ortiz-Cereceres, J., & Kelly, J. D. (2004). Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Research*, 85(2–3), 203–211. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00161-8)
- Rosales-Serna, R., Acosta-Gallegos, J. A., Durán-Durán, R. P., Guillén-Andrade, H., Pérez-Herrera, P., Esquivel-Esquivel, G., & Muruaga-Martínez, J. S. (2003). Diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en México. *Agricultura Técnica en México*, 29(1), 11–24.
- Rosales-Serna, R., Flores-Gallardo, H., Nava-Berumen, C. A., & Ortiz-Sánchez, I. A. (2019). Rendimiento y calidad de grano en líneas mejoradas de frijol cultivadas bajo riego en Durango, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(1), 39–46. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.1.39>
- Sánchez, R., Rodríguez, L., & López, J. (2017). Tecnologías para la agricultura en ambientes protegidos: Desafíos y oportunidades en el contexto mexicano. *Agricultura Técnica en México*, 43(3), 387–402. <https://doi.org/10.1016/j.agri.2017.08.002>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Avance de siembras y cosechas: Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.dov
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Avance de siembras y cosechas: Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do
- Singh, S. P., Terán, H., Schwartz, H. F., Otto, K., & Lema, M. (2009). Introgressing white mold resistance from *Phaseolus* species of the secondary gene pool into common bean. *Crop Science*, 49(5), 1629–1637. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.08.0508>
- Tosquy Valle, O. H., López Salinas, E., Zetina Lezama, R., Villar Sánchez, B., & Rodríguez Rodríguez, J. R. (2017). Production of black bean genotypes under residual moisture and terminal drought conditions. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 35(1), 29–39. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i1.239>
- Tosquy-Valle, O. H., Villar-Sánchez, B., Ibarra-Perez, F. J., Anaya-López, J. L., & Garrido-Ramírez, E. R. (2022). Yield and resistance to golden yellow mosaic of tropical black bean genotypes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(7), 1285–1294. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.2429>
- White, J. W., & Singh, S. P. (1991). Breeding for adaptation to drought. In A. van Schoonhoven & O. Voystest (Eds.), Common beans: Research for crop improvement (pp. 501–560). CIAT.