

Rendimiento, biomasa y fenología de la cruce entre frijol silvestre y domesticado

Alfonso García-Urióstegui^{1,3}

José Rodolfo García-Nava^{1,§}

Ebandro Uscanga-Mortera¹

Antonio García-Esteva¹

Josué Kohashi-Shibata¹

Gabino García de los Santos²

1 Posgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. CP. 56230. Tel. 595 9520200, ext. 1318. (alfonso.gaur@gmail.com).

2 Posgrado en Producción de Semillas. Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. CP. 56230. Tel. 595 9520200, ext. 1318. (alfonso.gaur@gmail.com). Tel. 595 9520200, ext. 1555. (garciag@colpos.mx).

3 Instituto Tecnológico de Ciudad Altamirano. Avenida Pungarabato s/n, Colonia Morelos, Ciudad Altamirano, Guerrero. México. CP. 40660. Tel. 767 66721213.

Autor para correspondencia: garciandr@colpos.mx.

Resumen

La hibridación permite mejorar al cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Las líneas con una amplia base genética son una ventaja para la obtención de nuevas variedades. *P. vulgaris* en México al igual que el maíz, es uno de los cultivos básicos que cumple diversas funciones de carácter alimentario y es objeto de constante mejoramiento. El objetivo del presente estudio fue evaluar las progenies o líneas obtenidas a partir de la cruce entre un progenitor silvestre y uno domesticado, cultivadas en invernadero e hidroponía para determinar: rendimiento de semilla, producción de biomasa, y su fenología. El estudio se realizó en el año 2019, en el *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados. Se evaluó un frijol silvestre (S13), un domesticado, registrado como Negro Tacaná y cinco líneas (53b, 51b, 118b, 111, 3.3) producto de la cruce de S13 con Negro Tacaná. Cada progenitor y cada línea se consideró como un tratamiento y se distribuyeron en un diseño completamente al azar. Las líneas 118b y 3.3 produjeron mayor rendimiento de semilla en promedio 225.3 g planta⁻¹, el progenitor silvestre, el domesticado y las líneas 11.1 y 51b rendimientos intermedios (150.5 g planta⁻¹) y la línea 53b el más bajo 98.6 g planta⁻¹. El progenitor S13 presentó el número de semillas por vaina y peso de cien semillas más alto, mientras que en el Negro Tacaná esto fue opuesto. El rendimiento y tiempo a ocurrencia de las etapas fenológicas fue una respuesta al ambiente y al manejo del cultivo, lo cual permitió la máxima expresión de su potencial genético.

Palabras clave:

Phaseolus vulgaris L., hibridación, hidroponía, potencial genético.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de grano comestible más importante para el consumo humano, por ser fuente de proteínas y una cantidad relativamente alta de vitaminas B, tiamina, riboflavina y minerales (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2000). Además, es rico en fibra, prebióticos y diversos micronutrientes (Câmara *et al.*, 2013), por lo cual, es considerado un alimento funcional, por prevenir o remediar enfermedades. En América, los mayores productores de frijol son Brasil, Estados Unidos de América y México (Beebe *et al.*, 2013; FAO, 2023). En particular, América Latina aporta el 32% de la producción de este grano (FAO, 2023).

En México se cultiva en casi todas las regiones y condiciones de suelo y clima, Zacatecas y Durango son los principales estados productores con un rendimiento promedio de 0.67 y 0.57 Mg ha⁻¹, respectivamente; en contraste, en Yucatán el rendimiento es de 0.31 Mg ha⁻¹ (SIACON, 2021). El bajo rendimiento se debe a que la mayor parte se cultiva en áreas con temporal errático y frecuentes periodos de sequía, suelos con baja capacidad de retención de humedad, pobres en materia orgánica y nutrimentos (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008; Assefa *et al.*, 2013).

Para enfrentar el bajo rendimiento de este cultivo, además de mejorar el manejo agronómico, existen diferentes métodos de mejoramiento; la hibridación es uno de ellos, el cual permite obtener progenies o líneas derivadas de la cruce de progenitores con características sobresalientes; por ejemplo, mayor rendimiento, resistencia a sequía y enfermedades, entre otras. Son insuficientes los estudios acerca de las poblaciones silvestres de frijol y sus progenitores en aspectos de componentes de rendimiento, biomasa y fenología de progenies provenientes de frijol silvestre y domesticado (García *et al.*, 1999; Aguirre *et al.*, 2003; Lanna *et al.*, 2018).

En dichas poblaciones se podrían encontrar características sobresalientes (resistentes a sequía, temperatura alta y patógenos) que pudieran ser utilizadas en programas de mejoramiento genético y evitar rendimientos bajos (Lanna *et al.*, 2018). Los fitomejoradores prefieren utilizar germoplasma de líneas de la misma clase comercial, para obtener granos con atributos similares, propiciar la mecanización y mejores rendimientos (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008) y por ende no se utilizan las poblaciones silvestres o sus líneas, debido a que son más heterogéneas con respecto a sus características agronómicas y son menos productivas (López *et al.*, 2005).

Sin embargo, hay una gran diversidad genética, lo cual les ha conferido resistencia a enfermedades y plagas y han demostrado ser tolerantes a estrés abiótico y con mayor calidad nutricional (Peña-Valdivia *et al.*, 2011). La hipótesis que se plantea en este estudio es que el frijol silvestre proporciona características favorables, como, mayor número de semillas y vainas por planta con respecto a las líneas derivadas de la cruce entre este y un frijol domesticado. El objetivo de la investigación fue evaluar las progenies o líneas obtenidas a partir de la cruce entre un progenitor silvestre y uno domesticado, cultivadas en invernadero e hidroponía para determinar: rendimiento de semilla, producción de biomasa, y su fenología.

Materiales y métodos

Localización del experimento

Esta investigación se desarrolló en condiciones de invernadero con cubierta de plástico y sin control de temperatura, en el ciclo agrícola primavera-verano de 2019, en el *Campus* Montecillo, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, 2 250 msnm). La temperatura y humedad relativa fue registrada con un dispositivo digital marca Hobo U12-012.

Material vegetal

Se utilizó el frijol silvestre (S13) de crecimiento indeterminado trepador tipo IV, con semillas pequeñas y vainas dehiscentes (Delgado *et al.*, 1988) y el domesticado Negro Tacaná (NT) de crecimiento indeterminado arbustivo tipo II (Rosales *et al.*, 2004). Ambos materiales se cruzaron y

se obtuvieron las líneas: 11.1, 3.3, 53b, 51b y 118b, todas de crecimiento indeterminado. El frijol silvestre (S13) se registró en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) con el número G23429, y originalmente se colectó en Santa Isabel, municipio de Cholula, Puebla, México. El frijol cultivado (NT) se inscribió en el Journal of Crop Science (López-Salinas *et al.*, 1997). Las semillas fueron proporcionadas por el Dr. Jorge A. Acosta Gallegos del INIFAP.

Siembra y manejo de los progenitores y líneas

La siembra de los progenitores y las líneas se llevó a cabo en invernadero en el año 2019, en vasos de poliestireno de 250 ml de capacidad, llenos con sustrato tezontle de granulometría ≤ 0.5 cm. El riego fue con agua durante los primeros cinco días, posteriormente, se regó con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) con potencial osmótico de -0.036 MPa. Las plántulas fueron transplantadas cuando presentaron las hojas simples desplegadas [10 o 12 días después de la siembra (dds)], en macetas de plástico de 28.5 cm de diámetro superior, 26 cm de diámetro inferior y 35 cm de altura, a cada una se les agregó 19 kg de tezontle, con granulometría ≤ 1 cm.

A partir del trasplante, se regó cada día con solución nutritiva con potencial osmótico de -0.072 MPa y cada siete días con agua acidulada con un pH de 5.5. Para preparar la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) se utilizó agua corriente de la llave. El pH se ajustó a 5.5 con ácido sulfúrico comercial 1N.

Tratamientos y diseño experimental

Cada una de las líneas derivadas de la cruce, así como cada uno de los progenitores, fueron considerados como un tratamiento. La unidad experimental consistió en una planta por maceta. El diseño experimental fue un completamente al azar, se utilizaron ocho repeticiones por tratamiento.

Fenología y grados día desarrollo

Fenología

Se registró la ocurrencia y la duración de cada una de las etapas fenológicas en cada uno de los progenitores y líneas de acuerdo con la descripción del Centro Internacional de Agricultura Tropical (Fernández *et al.*, 1991). Los días requeridos para cada una de las etapas fenológicas de la fase vegetativa y reproductiva, fueron: siembra (V0), emergencia (V1), hojas primarias (V2), primera hoja compuesta (V3), tercera hoja (V4) y las reproductivas: prefloración (R5), floración (R6), formación de vainas (R7), llenado de vainas (R8) y maduración (R9). La fase vegetativa comprende desde el inicio de la germinación hasta el momento de la diferenciación de los primordios florales y la fase reproductiva, desde la aparición de flores hasta el día en que la semilla completa su desarrollo (Fernández *et al.*, 1991).

Grados día desarrollo

Para conocer los requerimientos de calor de los progenitores y líneas estudiados, se calcularon los grados día desarrollo (GDD) (Snyder, 1985), se utilizó como temperatura base (T_b) 10 °C (Bracho *et al.*, 2010).

Variables del cultivo

Rendimiento, sus componentes y biomasa

Cuando se alcanzó la madurez fisiológica, se llevó a cabo la cosecha y se evaluó el rendimiento de semilla (RS, peso de la semilla al 10% de humedad, $g\ m^{-2}$) y sus componentes: número de vainas por planta (NVP), número de semillas por vaina (NSV), número de semillas por planta (NSP) y peso de cien semillas (PCS).

La biomasa seca total (g planta^{-1}) se registró al secar el material vegetal hasta peso seco constante en una estufa (Blue M, Illinois, USA) a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 h. Se utilizó una balanza analítica marca Scientech® Series 12000 para el registro de la biomasa. El índice de cosecha modificado (ICm, expresado en porcentaje) donde se considera la materia seca de los órganos que sufrieron abscisión durante el ciclo del cultivo (Kohashi-Shibata *et al.*, 1980). Se registró la biomasa total producida por planta expresada en peso seco, con ese dato y la producción de semilla se determinó el índice de cosecha modificado (ICm) el cual representa la proporción de materia seca correspondiente al órgano de interés económico (grano), en relación al total de las estructuras de la planta incluidos los órganos caídos (Kohashi Shibata *et al.*, 1980) y se le considera como un indicador de la eficiencia de una variedad desde el punto de vista del rendimiento (Escalante y Kohashi, 2015).

Análisis estadísticos

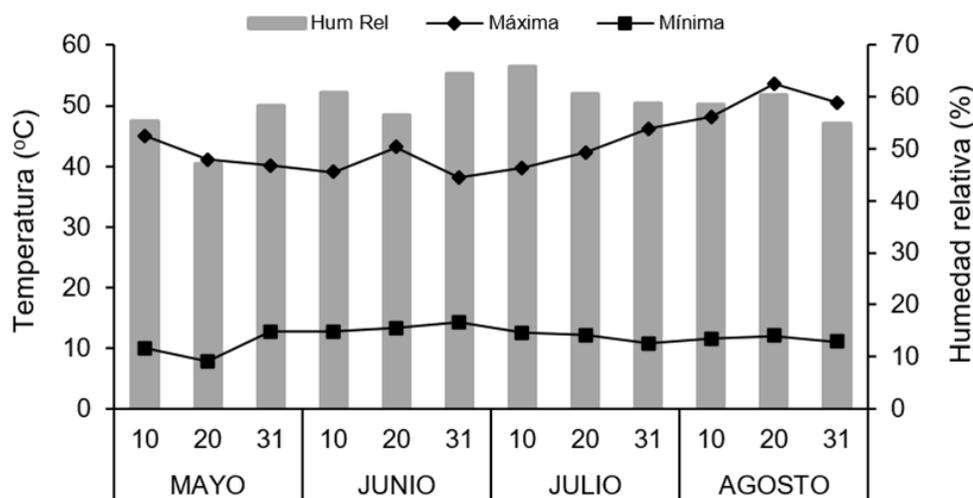
Con los datos de cada variable se realizó el análisis de varianza utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute Inc., 2012 versión 9.3) y la comparación múltiple de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

Temperatura y humedad relativa

Durante el desarrollo de las plantas en invernadero (mayo-agosto), la humedad relativa promedio fue de 58% y la más alta se registró en la primera decena de julio (66%), la cual evitó el desarrollo de enfermedades (Huertas, 2008). La temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) aumentó significativamente desde la primera decena de julio ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) hasta la segunda decena de agosto, cuando se registró la temperatura más alta ($54\text{ }^{\circ}\text{C}$). La menor temperatura ocurrió en la segunda decena de mayo ($8\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Figura 1), la $T_{\text{máx}}$ promedio durante el ciclo del cultivo fue $43.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la $T_{\text{mín}}$ $11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, las temperaturas mínimas no dañaron las láminas foliares. La temperatura media fue de $24 (\pm 2)\text{ }^{\circ}\text{C}$.

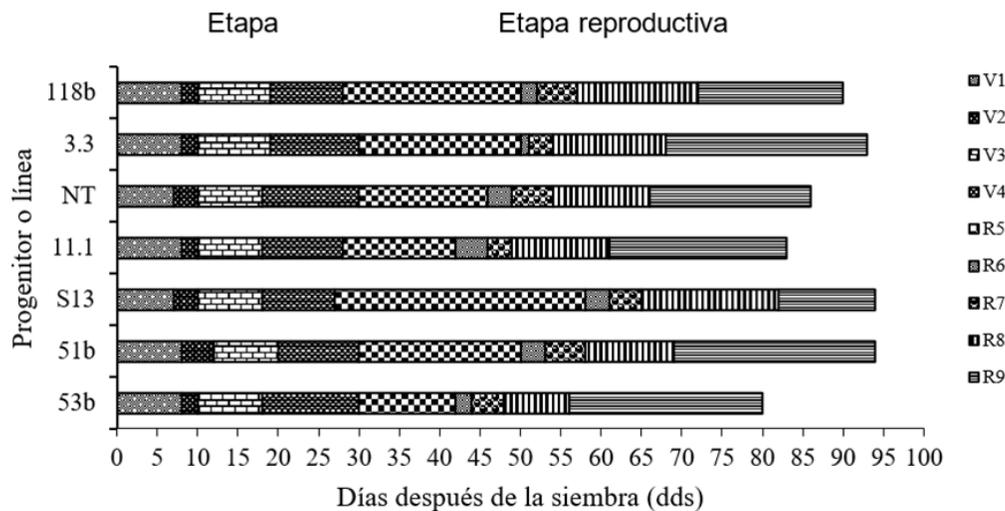
Figura 1. Temperatura mínima, máxima y humedad relativa decenal promedio registrada durante el período mayo-agosto de 2019.



Fenología y grados día desarrollo

La duración del ciclo biológico fue diferente entre los progenitores y líneas, por lo cual la fase vegetativa y la reproductiva fueron diferentes (Figura 2).

Figura 2. Duración de las fases fenológicas del frijol silvestre (S13), domesticado (NT) y las líneas derivadas de la cruce entre ambos, cultivadas en invernadero en hidroponía. V1= emergencia; V2= hojas primarias; V3= primera hoja compuesta; V4= tercera hoja compuesta; R5= prefloración; R6= floración; R7= formación de vainas; R8= llenado de vainas; R9= maduración.



Autores como Salinas-Ramírez *et al.* (2012) documentaron tendencias similares en el cultivo de frijol ejotero con distinto hábito de crecimiento. En general, la emergencia de las plántulas ocurrió entre los siete y ocho dds; el silvestre S13 y domesticado NT presentaron una emergencia más rápida (siete días), debido a que su velocidad de imbibición fue mayor con respecto al resto de las líneas (García-Urióstegui *et al.*, 2015).

Una velocidad de imbibición mayor provoca cambios rápidos en la actividad enzimática y metabólica, y consecuentemente la ruptura de las cubiertas seminales (Chong *et al.*, 2002; Doria, 2010). Flores de la Cruz *et al.* (2018) indicaron valores similares de ocho y seis dds para el frijol silvestre y domesticado respectivamente. La genética es inherente a cada híbrido, pues existe un comportamiento diferencial en la emergencia de cada material.

El inicio de la etapa de floración (R6) ocurrió primero en la 53b y la 11.1. Dicha etapa en el S13 ocurrió a los 61 dds. El S13, la 118b, la 51b y la 3.3 fueron los más tardíos. La madurez fisiológica (R9), ocurrió en promedio a los 93 dds. El NT, la 53b y la 11.1 fueron más precoces, ya que alcanzaron la madurez en promedio a los 82 dds, mientras que la 118b, 3.3, S13 y 51b la tuvieron a los 93 dds (Figura 2).

El progenitor silvestre (S13) fue el más tardío a R8 (82 dds) y también a R9 (94 dds), al mostrar una madurez más lenta en comparación con el domesticado y las líneas, lo cual concuerda con lo reportado por Flores de la Cruz *et al.* (2018), quienes también los cultivaron en invernadero, en donde para el frijol silvestre las etapas R8 y R9 se extendieron 12 y 19 dds en comparación con las etapas R8 y R9 del domesticado.

Este resultado es similar al reportado por Meza-Vázquez *et al.* (2015) en poblaciones silvestres de frijol, y podría ser una adaptación evolutiva que permite a estas plantas comportarse como

bianuales o perennes. El S13 y la 51b requirieron de 1845 GDD, la domesticada NT 1668 GDD, mientras que la 53b necesitó 1556 GDD para alcanzar la madurez fisiológica. Las otras líneas requirieron 1755 (118b), 1824 (3.3), 1619 (11.1), 1556 (53b). Estos resultados difieren al obtenido por Bracho *et al.* (2010), ya que para un crecimiento óptimo se necesitan 887.9 GDD.

Esta diferencia puede explicarse por la variabilidad genética que existe entre los diferentes genotipos de frijol y la interacción con la temperatura a lo largo del ciclo, como resultado del ambiente en invernadero que es diferente al natural, ya que la temperatura influye en los procesos fisiológicos y bioquímicos en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009). Esto es confirmado por Maqueira-López *et al.* (2021), quienes mencionan que la temperatura es uno de los factores más importantes para lograr mejores rendimientos en el frijol.

El conocimiento de los requerimientos de grados día desarrollo para alcanzar las diferentes etapas fenológicas permite, con el conocimiento previo de la temperatura, programar apropiadamente las labores agrícolas (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009; Pichardo-Riego *et al.*, 2013).

Rendimiento de semilla y sus componentes

Las variables, rendimiento de semilla (RS), número de semillas por planta (NSP), número de vainas normales por planta (NVP), semillas por vaina (NSV) y peso de cien semillas (PCS) mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$): el S13 presentó la producción mayor de NVP (817) y NS (3513), características que están relacionadas con las plantas silvestres (Cuadro 1) (Zimdahl, 2007; Ross y Lembi, 2009).

Cuadro 1. Rendimiento de semilla y sus componentes, peso seco e índice de cosecha modificado en frijol silvestre, domesticado y sus líneas derivadas de la cruce entre ambos, cultivado en invernadero e hidroponía.

Progenitor o línea	RS (g planta ⁻¹)	Vainas planta ⁻¹ (NVP)	Semillas planta ⁻¹ (NSP)	Semillas vaina ⁻¹ (NSV)	PCS (g)	† Peso seco (g planta ⁻¹)	ICm (%)
118b 3.3 NT	226.5 a 224.5	296 b 229 bc	1641 b 1526 cb	5.8 abc 6.6 a	13.8 c 14.7 b	489.5 ab 514.4	46.2 a 45.4 a
11.1 S13 51b	a 156.4 b 154.2	103 d 201 c	553 e 1108 cd	5.8 abc 5.5 bc	28.3 a 13.9	a 320.7 c 333.4	48.9 a 47.3 a
53b CV DSH _{0.05}	b 153.6 b 138.1	817 a 192 c	3513 a 974 de	4.4 d 4.9 cd	c 4.4 e 14.2	bc 493.3 ab 311	31.2 a 45.6 a
	bc 98.6 c 18 47	171 cd 19 87	1088 cd 20 466	6.5 ab 19 1	bc 9.1 d 1 1	c 288.4 c 18 168	39.6 a 24 24

Valores con diferente letra dentro de cada columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). RS= rendimiento de semilla; PCS= peso de cien semillas; †= peso seco que incluye toda la parte aérea y los órganos caídos; ICm= índice de cosecha modificado.

Asimismo, el crecimiento indeterminado del S13 le permite tener un período reproductivo largo y al mismo tiempo continuar con el crecimiento vegetativo, ambos son características favorables para la sobrevivencia de las poblaciones silvestres en la naturaleza (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008). Las plantas de hábito de crecimiento indeterminado mostraron un mayor número de nudos y por lo tanto, un mayor número de sitios potenciales para producir flores, lo que incrementa el número de vainas y de semillas (Kelly, 2001). Sin embargo, el S13 obtuvo el PCS (4.4 g) y el NSV (4.4) menores y por lo tanto, el RS (153.6 g planta) más bajo en comparación con el NT y las líneas, lo cual muestra que para el domesticado NT el PCS (28.3 g), NSV (5.8) y RS (156.4 g planta⁻¹) fue mayor (Cuadro 1).

Entre los cambios que se han identificado en los genotipos domesticados de frijol, está el aumento de algunos valores de importancia antropogénica como el tamaño de diversos órganos de las plantas, especialmente de las vainas y las semillas (Peña *et al.*, 2012). En particular, bajo condiciones de estrés hídrico, el rendimiento de grano está estrechamente relacionado con la removilización de fotosintatos (Padilla-Chacón *et al.*, 2017), lo que afecta la eficiencia de partición de los fotosintatos desde las estructuras vegetativas hacia las vainas y de la pared de la vaina hacia el grano (Sofi y Saba, 2016).

El frijol cultivado NT tuvo el menor NVP (103) y NSP (553); por tener un periodo de floración corto, aunado a la selección a la que fue sometido cuando se buscó reducir el NSP, pero se incrementó el tamaño de las mismas y consecuentemente su rendimiento fue intermedio (Cuadro 1), estos resultados concuerdan con lo reportado por Flores de la Cruz *et al.* (2018), en donde el NVP (131) y NSP (698) para el frijol domesticado fue menor en comparación con el silvestre S13 para NVP (1014) y NSP (3067).

Sin embargo, estos resultados difieren de los de García-Nava *et al.* (2014), quienes muestran un rendimiento menor en este material, dicha diferencia se atribuye a que utilizaron macetas de un volumen mucho menor (4.5 kg) y dos plantas por cada unidad experimental. El PCS del frijol cultivado NT (28.3 g) fue superior al del S13 (4.4 g), los rendimientos de las líneas (13.14 g promedio) fueron superiores al S13 (Cuadro 1). Esto es debido a que el frijol cultivado fue seleccionado en base a su peso y no al número de semillas (553) y el frijol silvestre tiene como característica su menor tamaño de semilla, pero produce una gran cantidad de semillas (3513).

En particular, la línea 118b obtuvo RS altos (226.5 g planta⁻¹) mientras que la 53b el valor más bajo (98.6 g planta⁻¹). Esto debido a un potencial productivo bajo dado por una menor producción de flores, vainas y semillas por planta (Morales-Rosales *et al.*, 2008; Escalante y Kohashi, 2015), mientras que esas mismas son las características más dominantes del progenitor silvestre (Herrera-Flores y Acosta-Gallegos, 2008). El rendimiento depende del genotipo, las condiciones ambientales del crecimiento y su interacción (Maqueira-López *et al.*, 2021).

En este caso fue similar el ambiente experimental en el que se desarrollaron los progenitores y las líneas de las plantas de frijol, los cultivos crecieron en invernadero en combinación con la nutrición por hidroponía, lo cual elimina o disminuye los factores que son limitantes en el crecimiento y producción vegetal, ya que no existe competencia por los nutrientes y uso eficiente del agua, debido a que no hay pérdidas por filtración y evaporación (Cánovas, 2001). Por consiguiente, las diferentes respuestas en el rendimiento se pueden explicar por la propia variabilidad genotípica entre los progenitores y las líneas.

Biomasa e índice de cosecha modificado

El ICm no mostró diferencias significativas entre los progenitores y líneas $p \geq 0.05$ (Cuadro 1), al presentar un promedio de 43.5%. La biomasa más alta correspondió a la línea 3.3 y 118b, el silvestre S13, con 499 g planta⁻¹ en promedio, debido a que mostraron la mayor producción de peso seco en láminas foliares y ramas, como lo describen García-Esteva *et al.* (2003). La biomasa más baja se encontró en las líneas 53b y 51b y el progenitor NT y fue en promedio 306.7 g planta⁻¹, esto pudo estar asociado a que mostraron un ciclo de crecimiento más corto (Pichardo-Riego *et al.*, 2013).

Al considerar el RS, la biomasa y el ICm, los progenitores y líneas pueden categorizarse en tres grupos de acuerdo con sus diferencias estadísticas ($p \neq 0.05$), el primer grupo lo conforman la 118b y la 3.3 con 225 g planta⁻¹ en promedio y un ICm de 45.8%, el segundo el NT, la 11.1, la 51b y el S13, con 150.5 g planta⁻¹ y 42.5%, y el tercero la 53b con 98.6 g planta⁻¹ y 42.6% en promedio. Esta variación entre los patrones de los cultivares y el efecto que en ellos tienen las condiciones del ambiente, se pueden orientar a maximizar la productividad y a seleccionar los mejores cultivares para un propósito en particular (Núñez *et al.*, 2009).

Conclusiones

Las líneas 118b y 3.3 produjeron mayor rendimiento de semilla y biomasa, además, fueron más tardías. En contraste, la 11.1 el rendimiento intermedio y la 53b el más bajo y fueron más precoces. La línea 11.1 y 53b la biomasa menor. La selección puede entonces orientarse a características deseables en forma específica, de acuerdo con los objetivos e interés del productor.

El estudio sobre las características morfológicas y etapas de desarrollo fenológico de los diferentes genotipos de *Phaseolus*, puede apoyar el conocimiento para mejorar su rendimiento, conservación y mejoramiento genético e identificar atributos deseables a la calidad agronómica para precisar el potencial de uso y las necesidades de los productores.

Bibliografía

- 1 Aguirre, R. J. R.; Peña-Valdivia, C. B. and Bayuelo-Jiménez, J. S. 2003. Morphology, phenology and agronomic traits of two wild Mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) populations under cultivation. *S. Afr. J. of Bot.* 69(3):410-421. [Doi.org/ 10.1016/S0254-6299\(15\)30324-0](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30324-0).
- 2 Assefa, T.; Beebe, S. E.; Idupulapati, M. R.; Cuasquer, J. B.; Myriam, C. D.; Rivera, M.; Battisti, A. and Lucchin, M. 2013. Pod harvest index as a selection criterion to improve drought resistance in white pea bean. *Field Crops Res.* 148:24-33.
- 3 Barrios-Gómez, E. J. y López-Castañeda, C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia.* 43(1):29-35.
- 4 Beebe, S. E.; Rao, I. M; Blair, M. W. and Acosta-Gallegos, J. A. 2013. Phenotyping common beans for adaptation to drought. *Front. Physiol.*4: <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00035>.
- 5 Bracho, B.; Arnaude, O. y Lozada, B. 2010. Fenología de cultivares locales de frijol y arveja del municipio Rafael Urdaneta, Estado Táchira, Venezuela, basada en grados día. *Agronomía Tropical.* 60(2):171-175.
- 6 Cánovas, M. F. 2001. Manejo del cultivo sin suelo: *In: el cultivo del tomate.* F. Nuez Mundiprensa. España. 227-254 pp.
- 7 Câmara, C. R. S.; Urrea, C. A. and Schlegel, V. 2013. Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a functional food: implications on human health. *Agriculture.* 3(1):90-111. <https://doi.org/10.3390/agriculture3010090>.
- 8 Chong, C.; Bible, B. B. and Hak-Yoon, J. 2002. Germination and emergence. *In: Pessaraki, M. Ed. Handbook of plant and crop physiology.* 2ª. Ed. New York: marcel Dekker, Inc. 85-146 pp.
- 9 Delgado, S. A.; Bonet, A. and Gepts, P. 1988. The wild relative of *Phaseolus vulgaris* L. in middle America. *In: Gepts, P. Ed. Genetic resources of Phaseolus beans.* Kluwer Dordrecht, The Netherlands. 163-184 pp.
- 10 Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Trop.* 31(1):74-85.
- 11 Escalante-Estrada, J. A. S. y Kohashi-Shibata, J. 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. 2ª. Ed. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 84 p.
- 12 FAO. 2023. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/>.
- 13 Fernández, F.; Gepts, P. y Lopez, M. 1991. Etapas de desarrollo en la planta de frijol. *In: López, G. M.; Fernández, O.; Fernando, O.; Schoonhoven, Aart van Ed. Frijol: investigación y producción.* Programa de las Naciones Unidas (PNUD)-Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 61-78 pp.
- 14 Flores-Cruz, M. J; García-Esteva, A; García-Nava, J. R.; Kohashi-Shibata, J. y Ybarra Moncada, M. C. 2018. Diferencias fenológicas, morfológicas y de componentes del rendimiento entre una forma silvestre y una domesticada de frijol común. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 9(1):137-149. [https://doi.org/ 10.29312/remexca.v9i1.854](https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.854).
- 15 García-Esteva, A.; Kohashi-Shibata, J.; Baca-Castillo, G. A. y Escalante-Estrada, J. A. S. 2003. Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra Latinoamericana.* 21(4):471-480.

- 16 García, H. E.; Peña-Valdivia, C. B.; Aguirre, R. J. R. y Muruaga, J. S. 1999. Contraste morfológico y fisiológico de *Phaseolus vulgaris* L. silvestre y domesticado. *Revista Chapingo Serie Ing. Agrop.* 2(1):61-68.
- 17 García-Nava, J. R.; García-Esteva, A.; Kohashi-Shibata, J.; Uscanga-Mortera, E. and Peña-Valdivia, C. B. 2014. Seed yield and its components of wild and cultivated *Phaseolus vulgaris* L. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.* 57(1):303-304.
- 18 García-Urióstegui, A.; García-Nava, J. R.; Uscanga-Mortera, E.; García-Esteva, A.; Kohashi-Shibata, J. and García-Santos, G. 2015. Bean seed drying and its physiological quality. *Annu. Rep. Bean Improv. Coop.* 58(1):5-6.
- 19 Guzmán-Maldonado, S. H.; Acosta-Gallegos, J. A. and Paredes-López, O. 2000. Protein characteristics and mineral contents of a novel collection of wild and weedy common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Sci. Food Agric.* 80(13):1874-1881. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200010\)80:13<1874aid-jsfa722>3.0.co;2-x](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200010)80:13<1874aid-jsfa722>3.0.co;2-x).
- 20 Herrera-Flores, T. S. y Acosta-Gallegos, J. A. 2008. Rendimiento de tres tipos de cruza entre genotipos silvestres y cultivados de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México.* 34(2):167-176.
- 21 Huertas, L. 2008. El control ambiental en los invernaderos: humedad relativa. Prevenir enfermedades y plagas. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 205 (1):52-54.
- 22 Kelly, J. D. 2001. Remaking bean plant architecture for efficient production. *Adv. Agron.* 71:109-143. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71013-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71013-9).
- 23 Kohashi-Shibata, J.; Caprio-Costa, J. and Miranda, C. S. 1980. Harvest index in *Phaseolus vulgaris* L. *Annu. Rep. Bean improv. Cooperative* 23(1):87-89 <http://alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/88572>.
- 24 Lanna, A. C.; Silva, R. A.; Ferraresi, T. M.; Mendonça, J. A.; Costa, C. G. R.; Souza, M. A.; Mendes, R. V. P. A.; Brondani, C. and Pereira, V. R. 2018. Physiological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under abiotic stresses for breeding purposes. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25(31):31149-31164. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3012-0>.
- 25 López-Salinas, E.; Acosta-Gallegos, J. A.; Becerra-Leor, E. N.; Frayre-Vázquez, G.; Orozco, S. H. and Beebe, S. E. 1997. Registration of 'Negro Tacana' common bean. *Crop Sci.* 37(3):1022-1022. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030081x>.
- 26 López, S. J. L.; Ruíz, C. J. A.; Sánchez, G. J. y Lépiz, I. R. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 28(3):221-230. <https://doi.org/10.35196/rfm2005.3.221>.
- 27 Maqueira-López, L. A.; Roján-Herrera, O.; Solano-Flores, J. M.; Santana-Ges, I. y Fernández-Márquez, D. 2021. Productividad del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Parte I. Rendimiento en función de variables meteorológicas. *Cultivos tropicales.* 42(3):7-10.
- 28 Meza-Vázquez, K. E.; Lépiz-Ildelfonso, R.; López-Alcocer, J. J. y Morales-Rivera, M. M. 2015. Caracterización morfológica y fenológica de especies silvestres de frijol (*Phaseolus*). *Revista Fitotecnia Mexicana.* 38(1):17-28.
- 29 Morales-Rosales, E. J.; Escalante-Estrada, J. A. S. y López-Sandoval, J. A. 2008. Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Univ. Ciencia.* 24(1):1-10. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S018629792008000400001&lng=es&ting=es>.
- 30 Núñez, C. E.; Santos, C. M. and Segura, A. M. 2009. Dry matter allocation and partitioning of four potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) in zipaquirá, cundinamarca (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín.* Medellín. 62(1):4823-4834.
- 31 Padilla-Chacón, D.; Martínez-Barajas, E.; García-Esteva, A.; Leal-Delgado, R.; Kohashi-Shibata, J. and Peña-Valdivia, C. B. 2017. Biomass remobilization in two common bean

- (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under water restriction. S. Afr. J. of Bot. 112(1):79-88. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.05.015>.
- 32 Peña-Valdivia, C. B.; García-Nava, J. R.; Aguirre-Rivera, J. R.; Ybarra-Moncada, M. C. and López, H. M. 2011. Variation in physical and chemical characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grain along a domestication gradient. Chem. & Biodivers. 8(12):22111-2225. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201100102>.
- 33 Peña, V. C. B.; Aguirre, R. R. y Arroyo, P. V. B. 2012. El frijol silvestre. Síndrome de domesticación. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. 206 p.
- 34 Pichardo-Riego, J. C.; Escalante-Estrada, J. A. S.; Díaz-Ruíz, R.; Quevedo-Nolasco, A.; Volke-Haller, V. y Morales-Rosales, E. J. 2013. Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de cultivares de haba (*Vicia faba* L.) para doble propósito. Revista Chapingo Serie Horticultura. 19(1):71-84. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.04.013>.
- 35 Rosales, S. R.; Acosta-Gallegos, J. A.; Muruaga, J. M. M.; Esquivel, E. G. y Pérez, H. P. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Valle de México. Libro técnico núm. 6. 160 p.
- 36 Ross, M. A. and Lembi, C. A. 2009. Applied weed science. 3^a. Ed. Pearson, Prentice Hall. Meridien, Roma. 561 p.
- 37 Salinas-Ramírez, N.; Escalante-Estrada, J. A.; Rodríguez-González, M. T. y Sosa-Montes, E. 2012. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero en dos ambientes. Revista Fitotecnia Mexicana. 35(4):317-323.
- 38 SAS Institute, Inc. 2012. SAS 9.3 for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- 39 SIACON, 2021. Sistema de información Agroalimentaria de Consulta. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- 40 Snyder, R. L. 1985. Hand calculating degree days. Agric. For. Meteorol. 35(4):353-358. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(85\)90095-4](https://doi.org/10.1016/0168-1923(85)90095-4).
- 41 Sofi, A. P. and Saba, I. 2016. Natural variation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for root traits and biomass partitioning under drought. Indian J. of Agric. Res. 50(6):604-608. Doi: 10.18805/ijare.v50i6.6679.
- 42 Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proceedings of the 6th internat. Congress on soilless culture. Lunteren, The Netherlands. ISOSC. 633-649.
- 43 Zimdahl, R. L. 2007. Fundamentals of weed science. 3^a. Ed. Academic Press. San Diego, California, CA, USA. 666 p.



Rendimiento, biomasa y fenología de la cruz entre frijol silvestre y domesticado

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2025
Date accepted: 01 March 2025
Publication date: 13 April 2025
Publication date: Feb-Mar 2025
Volume: 16
Issue: 2
Electronic Location Identifier: e3507
DOI: 10.29312/remexca.v16i2.3507

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Phaseolus vulgaris L.

hibridación

hidroponía

potencial genético.

Counts

Figures: 2

Tables: 1

Equations: 0

References: 43

Pages: 0