

Caracteres ecofisiológicos y numéricos del rendimiento en haba afectados por el cultivar, densidad de población y sistema de siembra

Rogelio Araujo Díaz¹

Gustavo García-Hernández¹

Gaspar Estrada-Campuzano^{2§}

Carlos Gustavo Martínez-Rueda²

Aurelio Domínguez-López²

¹Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México. (wardndc@hotmail.com; koetesfwck@hotmail.com). ²Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. (cgmartinezr@uaemex.mx; adominguezl@uaemex.mx).

§Autor para correspondencia: gestradac@uaemex.mx.

Resumen

Se estableció un experimento en campo con el objetivo de evaluar el efecto de dos sistemas de siembra, tres densidades y tres cultivares, sobre los caracteres ecofisiológicos y numéricos del rendimiento de semilla de haba var. Mayor. Los tres cultivares de haba (Amarilla, Diamante y Monarca) fueron sembrados en parcelas de tres surcos de 3 m de largo y separados a 0.8 m (sistema tradicional: ST) y a 0.4 m (sistema alternativo: SA) y en tres densidades de población (5, 10 y 15 semillas m⁻²). Para lograr la densidad deseada se depositaron dos semillas cada 25, 12.5 y 8 cm (ST) y cada 50, 25 y 16 cm (SA). El diseño experimental fue un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en serie. Los resultados mostraron efectos significativos para sistemas de siembra, densidad y cultivares. El SA obtuvo la mayor producción de biomasa y rendimiento de grano respecto del ST. Aumentar la densidad de población incremento el rendimiento de semilla debido a un mayor número de semillas por unidad de superficie y a un mayor número de vainas por m². Mostrando que la variabilidad mayor en este experimento se debió al incremento en las densidades de siembra, seguido por las distancias entre hileras (SA 40 cm) y (ST 80 cm). El genotipo Monarca obtuvo el mayor rendimiento de semilla, mientras que Amarilla presentó un incremento en peso de 100 semillas. Se observó que cada cultivar presentó un comportamiento distinto para la generación del rendimiento.

Palabras clave: *Vicia faba* L. var. Mayor, biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano.

Recibido: noviembre de 2022

Aceptado: febrero de 2023

Introducción

El haba (*Vicia faba* L.) es una leguminosa muy importante debido a su alto contenido de proteína en el grano y su gran diversidad de usos (Tamrat *et al.*, 2019). En el mundo se siembran actualmente alrededor de 2.5 millones de ha con una producción de 5.4 millones de toneladas con un rendimiento promedio de grano de 2.1 t ha^{-1} . Entre los cinco países principales productores de haba en el mundo, destaca China con 1.7 millones de toneladas, seguido de Etiopía con un millón de toneladas, mientras que, Reino Unido y Australia producen 547 y 327 mil toneladas, respectivamente (FAOSTAT, 2019). En México se siembran alrededor de 20 mil ha con una producción de 30 mil toneladas con un rendimiento promedio de 1.48 t ha^{-1} (SIAP, 2019).

En los cultivos de grano el rendimiento está estrechamente relacionado con la producción de biomasa y con el índice de cosecha (proporción de la biomasa total que representa grano) (Al-Suhaibani *et al.*, 2013; Cárcova *et al.*, 2015). La biomasa producida por un cultivo es el resultado de genotipo (G), el efecto de las condiciones ambientales (A) y aquellas relacionadas con la tecnología de producción, tales como, nutrición mineral, disponibilidad de agua, densidad de población y de la interacción genotipo ambiente (GxA) (Kruk *et al.*, 2015). La densidad de población (DP) como resultado de la distancia entre hileras y entre plantas dentro de hileras es uno de los principales factores de manejo que determinan la producción de biomasa y el rendimiento en los cultivos de grano (Matthews *et al.*, 2001; Ciampitti y Vyn; 2011; Zhang *et al.*, 2014).

En haba mayor DP reduce la producción de biomasa, el rendimiento de semilla y sus componentes (Bakry *et al.*, 2011; Khalil *et al.*, 2011; Al-Suhaibani *et al.*, 2013). Debido a los niveles de competencia entre plantas incluso en condiciones ambientales favorable (Tamrat *et al.*, 2019). También depende de la variedad botánica utilizada (Minor, Equina o Mayor) (López-Bellido *et al.*, 2005; Thalji, 2010; Khalil *et al.*, 2011).

Reducciones en el espaciamiento entre hileras afectan negativamente, número de ramas productivas y número de vainas por planta, cuando la distancia entre hileras es menor se incrementa la altura de planta (Bakry *et al.*, 2011; Al-Suhaibani *et al.*, 2013). Autores como Marcelos y Consable (1986), al evaluar densidades entre 10 y 60 plantas m^{-2} con distancias entre hileras de 18 y 33 cm, observaron incrementos en el rendimiento al reducir la distancia entre hileras e incrementar el número de plantas m^{-2} , concluyendo que densidades de 30 a 35 plantas m^{-2} Almeida *et al.* (1995), observaron los mayores rendimientos con una densidad de 40 plantas m^{-2} , resultados similares a los obtenidos por Coelho (1987) con la variedad (Minor) con densidades de 10 a 50 plantas m^{-2} .

Investigaciones como las de Thalji (2010) al evaluar dos, cuatro y seis plantas por maceta, en tres cultivares de haba observaron incrementos en el rendimiento de semilla, producción de biomasa y altura de planta con la densidad de 34 plantas m^{-2} , mientras que Al-Suhaibani *et al.* (2013), al evaluar dos cultivares de haba, en un sistema de riego por goteo y colocando 4, 6, 8, 10 y 12 plantas por gotero, dando (15, 26, 34, 42, 52 plantas m^{-2}) encontraron que el rendimiento de semilla estuvo correlacionado positivamente con el crecimiento del cultivo y también observaron incrementos en el rendimiento de semilla hasta ocho plantas por gotero.

Gezahegn *et al.* (2016), evaluaron el efecto de tres espaciamientos entre hileras (30, 40 y 50 cm) y tres espaciamientos entre plantas (8, 10 y 12 cm), encontraron que el arreglo 12 x 50 cm maximizó el rendimiento de semilla, el número de ramas, número de vainas por planta y el número de semillas por vaina, mientras que Tamrat *et al.* (2019) al estudiar el efecto de tres variedades de haba y seis densidades, encontraron que el rendimiento de semilla se incrementó con densidades de 250 000 plantas ha⁻¹ en las tres variedades.

En los Valles Altos de México existen pocos estudios en los cuales se analiza el comportamiento de cultivares a diferentes arreglos espaciales, recientemente Estrada *et al.* (2017), estudiaron el efecto de diferentes prácticas de manejo sobre la producción de forraje en haba; sin embargo, no se analizó el rendimiento de semilla en términos de sus componentes fisiológicos y numéricos. Con base en lo anterior se estableció el presente trabajo con el objetivo de estudiar el efecto del cultivar, la separación entre hileras y la densidad de plantas m⁻², sobre los componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento de semilla en haba.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el ciclo invierno-primavera 2019-2020 en la Facultad de Ciencias Agrícolas, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), localizada a 18 km al norte de la ciudad de Toluca, con coordenadas geográficas de 19° 15' 33'' de latitud norte, 99° 39' 38'' de longitud oeste y a una altitud de 2 640 m. El clima predominante el clima es templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 12.8 °C y precipitación promedio anual de 900 mm (González *et al.*, 2009).

El experimento se estableció en un suelo vertisol pélico de origen volcánico, el cual presenta bajo contenido de materia orgánica (1.01 a 2.36%). El color del horizonte superficial en seco es café grisáceo oscuro o gris oscuro con contenidos de arcilla de 20 a 36.4%. En el perfil del suelo se puede distinguir un horizonte con disturbios de labranza presentando compactaciones por piso de arado (Gil *et al.*, 2014).

Factores de estudio y diseño experimental

Se establecieron el experimento, con dos distancias entre hileras de 80 cm y el otro con distancia entre hileras de 40 cm. Se evaluaron tres genotipos proporcionados por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal (ICAMEX); (Amarilla, Diamante y Monarca) y tres densidades (5, 10 y 15 plantas m⁻²). Los tratamientos derivados del arreglo factorial de los tres cultivares y tres densidades, se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Condiciones generales del experimento

La siembra se realizó durante la primera semana del mes de diciembre de 2019 en dos arreglos de siembra, el primero conformado por tres camas separadas a 80 cm y 3 m de longitud (7.2 m²) designado como sistema tradicional (ST), mientras que el segundo contó con parcelas de 3 hileras de 3 m de longitud y separadas entre si a 0.4 m (4.8 m²) sistema alternativo (SA). Para cada arreglo

se utilizaron tres densidades de siembra 5, 10 y 15 semillas m⁻². Para garantizar la densidad deseada la distancia entre plantas en el sistema tradicional fue de 8, 12.5 y 25 cm entre plantas, mientras que en el sistema alternativo la separación fue de 16, 25 y 50 cm para las densidades de 5, 10 y 15 plantas m⁻², respectivamente.

El experimento se estableció bajo un sistema de riego por goteo

El suelo se fertilizó con el tratamiento 150N-60P-30K, utilizando como fuentes, urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio como fuente de estos elementos. El fósforo, potasio y la mitad del nitrógeno se aplicaron en la siembra, mientras que la segunda mitad del nitrógeno fue aplicada una semana antes de la floración. El control de malezas se realizó manualmente durante todo el ciclo de cultivo. Las condiciones atmosféricas fueron monitoreadas durante todo el ciclo mediante una estación climática automatizada (DavisTM, weather monitor II, USA).

Producción de biomasa, rendimiento y sus componentes

En madurez fisiológica se cortaron las plantas en un metro lineal del surco central de cada parcela y éstas fueron separadas en ramas y tallo principal, removiendo las vainas de cada estrato. La materia seca (tallos, hojas y vainas) de la muestra se determinó después de secar en una estufa de aire forzado durante 72 h a 60 °C. Se contaron las de la muestra, el peso seco de la semilla y así como el rendimiento por unidad de superficie.

El índice de cosecha fue obtenido como el cociente entre el rendimiento de semilla y la materia seca por unidad de superficie. Se determinó el número de vainas, el número de semillas por vaina y el número de semillas por unidad de superficie. El peso de 100 semillas fue obtenido del promedio del peso de cuatro muestras de 100 semillas de cada parcela.

Análisis estadístico

A cada una de las variables medidas en el experimento se les realizó un análisis de varianza de acuerdo con (Aldas y Jiménez, 2007) Cuando la prueba de F de los análisis de varianza resultó significativa, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias mediante la prueba de la diferencia mínima significativa honesta (DMSH) o prueba de Tukey a un nivel de significancia de 5% (Palaniswamy y Palaniswamy, 2006). Para la realización de los análisis estadísticos se utilizó el programa computacional R (Salas, 2008).

Resultados y discusión

Las condiciones climáticas durante el desarrollo del experimento no limitaron el desarrollo y crecimiento del cultivo, las temperaturas, aunque estuvieron por algunos días por debajo de los 0 °C no son letales para las primeras etapas del desarrollo del cultivo siendo esta temperatura la temperatura base decrecimiento (Confalone *et al.*, 2011; Orozco *et al.*, 2013). La emergencia ocurrió a los 15 días después de la siembra, a los 50 días presento 50% de las plantas se encontraba en la etapa de anthesis. Cabe mencionar que ambos cultivares llegaron a la floración de manera simultánea, encontrando condiciones de temperatura y humedad favorables. A los 90 días desde la emergencia se logró 50% de fructificación o amarre de vainas. A los 140 días el cultivo logró la madurez fisiológica con condiciones ambientales no restrictivas (Figura 1).

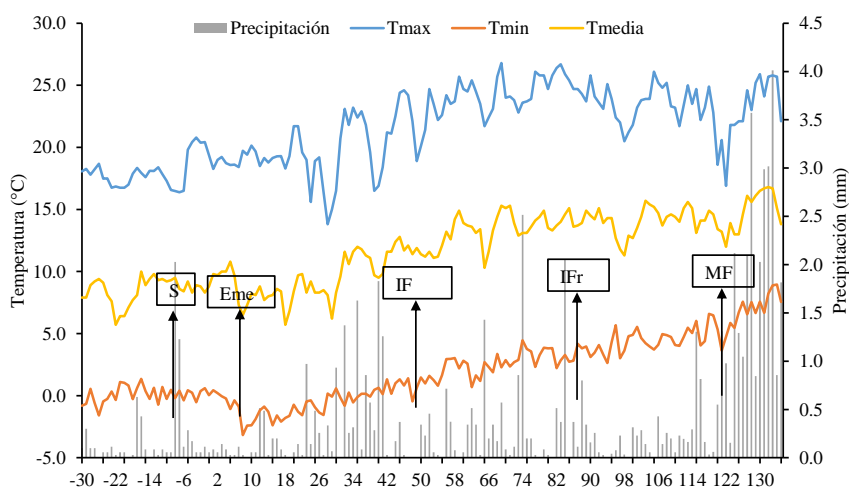


Figura 1. Condiciones agroclimáticas ocurridas durante la conducción del trabajo experimental. (S= siembra; Eme= emergencia; BFV= botón floral visible; IF= inicio de la floración; IFR= inicio de fructificación; MF= madurez fisiológica) para la interacción entre dos distancias de siembra, tres densidades y tres cultivares impuestos en el ciclo invierno-primavera en Cerrillo Piedras blancas, Toluca, México.

Los análisis de varianza mostraron efectos significativos del sistema de siembra en la mayoría de las variables evaluadas con excepción de la producción de biomasa en madurez fisiológica, el peso de 100 semillas, el número de ramas productivas por planta y el número de vainas totales. La densidad de siembra afectó significativamente todos los caracteres evaluados con excepción de IC, NSV, AP, NNP. El análisis de varianza también mostró diferencias significativas entre variedades para producción de biomasa en madurez fisiológica, rendimiento de grano, índice de cosecha, número de granos m^{-2} y peso de 100 granos, mientras que para el resto de las variables estudiadas no se observaron efectos significativos.

La interacción de sistema x densidad resultó significativa ($p < 0.05$) para el Rto, IC, NS, y NSPV, mientras que la interacción sistema x variedad fue significativa para Rto, IC, NS y SPV. Por otro lado, la interacción densidad por variedad resultó significativa ($p < 0.05$) para Biom, Rto, IC, NS y SPV. La interacción sistema x densidad x variedad, fue significativa para Biom, IC, NS, P100S y SPV, resultado ser significativa. Los coeficientes de variación oscilaron entre 5.54 y 26.7% que corresponden a altura de planta y número total de vainas (Cuadro 1).

Con el sistema alternativo (distancia entre surcos 40 cm) se obtuvo el mayor rendimiento de semilla respecto al sistema tradicional (distancia entre surcos 80 cm), así también los valores más altos de índice de cosecha, número de semilla por unidad de superficie, número de vainas por m^2 , número de semilla por vaina, altura de planta y número de nudos productivos por planta, en el resto de las variables ambos sistemas de siembra fueron estadísticamente iguales.

Por otro lado, el incremento en la densidad de siembra afectó positivamente la producción de biomasa (48%), rendimiento de semilla (53.6%), número de semilla por unidad de superficie (47%), número de vainas por unidad de superficie (47.7%) y número de ramas por planta un 5% respecto a la densidad más baja. Resultados similares fueron encontrados por Khalil *et al.* (2011), quienes al evaluar cuatro densidades de siembra (150 000, 300 000, 450 000, 600 000

plantas ha⁻¹). Encontraron incrementos en el rendimiento de semilla con la densidad 450 000 plantas para ser redituable económicamente. Tamrat *et al.* (2019) al evaluar densidades en el rango de 166 666 a 666 666 plantas ha⁻¹ en haba var. Minor, observaron incrementos en rendimiento de grano y características asociadas con el crecimiento, número de vainas en la densidad de 250 000 plantas ha⁻¹.

Cuadro 1. Valores de F y su significancia estadística para las variables de tres cultivares de haba crecidos en dos sistemas de siembra y tres densidades de población en Toluca, Estado de México.

Fuente de variación	gl	Biom	Rto	IC	NS	P100S	NV	NSPV	NRP	NRPP	AP	NVtot	NNPPP
Sistema (Sis)	1	0.7ns	302.2**	59.4**	92.1**	2.9ns	7.3*	7.47*	5.67*	0.01ns	31.6**	4.7ns	7.84*
Repetición (Sis)	6	2.9*	0.1ns	2.3*	0.5ns	0.9*	1ns	1.25ns	1.37ns	1.35ns	6.4**	1.5ns	10.29**
Densidad (Den)	2	172.6**	57.7**	1.7ns	98.1**	3**	45.1**	0.05ns	3.23*	4.81*	0.4ns	11.3**	0.07ns
Variedad (Var)	2	60**	10.3**	8.7**	7.1**	8.1**	0.2ns	1.99ns	1.08ns	1.81ns	2.2ns	0.1ns	0.1ns
Sis x Den	2	0.8ns	3.2*	21.3**	4.4*	1ns	0.1ns	4.49**	0.09ns	1.15ns	1.2ns	0.3ns	0.81ns
Sis x Var	2	3*	16.7**	25.4**	20.3**	1ns	1.4ns	4.56**	0.03ns	0.01ns	0.6ns	0.9ns	0.42ns
Den x Var	4	8.6**	4**	9.6**	6.3**	0ns	0.2ns	3.61**	1.74ns	2.2ns	0.3ns	0.1ns	1.12ns
Sis x Den x Var	4	7.9**	1.5ns	4.8**	4.8**	5.4**	0.5ns	2.49*	1.51ns	1.87ns	1.1ns	0.1ns	1.23ns
Error (CM)	19	467.2	4 823.5	0.002	1 095.9	860.9	1 404.8	0.101	1.18	0.98	36.3	437.3	4.46
CV (%)		12.9	19.4	13.77	17.66	15.1	25.4	24.4	18.52	19.01	5.5	26.7	16.45

Biomasa a madurez fisiológica (Biom); rendimiento de semilla (Rto); índice de cosecha (IC); número de semillas m⁻² (NS); peso de 100 semillas (P100S); vainas m⁻² (NV); semillas por vaina (SPV); ramas por planta (NRP); ramas productivas por planta (NRPP); altura de planta (AP); vainas totales (NVtot) y nudos productivos por planta (NPP); * = significativo al 0.05; ** = significativo al 0.01; ns = no significativo.

Incrementos en la densidad de población modifican la arquitectura de la planta, así las densidades altas (16 plantas m⁻² a 42 plantas m⁻²) reducen el número de ramas productivas por planta de haba impactando el rendimiento de semilla (Bakry *et al.*, 2011; Derogar y Mojaddam, 2014; Gezahegn *et al.*, 2016). Los resultados encontrados el experimento, muestran que el número de ramas productivas por planta disminuyó un 15% respecto a la densidad más baja (Cuadro 2).

Los genotipos Amarilla y Monarca registraron los rendimientos de semilla más altos (24% en promedio) respecto del cultivar Diamante, mostrando ambos genotipos diferente estrategia para la generación del rendimiento, Amarilla lo logró a través de un mayor peso de semilla, mientras que Monarca lo hizo mediante un mayor número de semilla m⁻² (Cuadro 2). López-Bellido *et al.* (2005), mencionan que los genotipos que presentan tamaño de semilla grande producen mucha materia seca y logran valores de índice de área foliar grandes, debido a que son más altos y tienen hojas más grandes. Cabe mencionar que el peso de semilla en el genotipo Amarilla difirió del resto de los genotipos y también logró valores altos de biomasa a madurez.

Cuadro 2. Valores promedio para las variables para tres cultivares de haba crecidos en dos sistemas de siembra y tres densidades de población en Toluca, Estado de México.

Fuente de variación	Biom (g m ⁻²)	Rto (g m ⁻²)	IC	NS	P100G (g)	NV	SPV	NRP	NRPP	AP (cm)	NVtot	NPP
Sistema												
Alternativo	1100.8a	419.8a	0.4a	215a	200.1a	159.2a	1.4a	5.5a	5.2a	118.9a	85a	15a
Tradicional	1052.1a	294.6b	0.27b	159b	188.3a	135b	1.2b	6.2a	5.2a	98.6b	71.5a	10.5b
Densidad (plantas m ⁻²)												
15	1461a	464.3a	0.32a	253a	185a	196.3a	1.3a	5.6b	4.9b	108.2a	65.4b	12.9a
10	1054.9b	358.4b	0.34a	188b	192a	151.2b	1.2a	5.6a	5ab	108.4a	75.6b	12.8a
5	713.5c	248.9c	0.35a	120c	205.6a	93.7c	1.3a	5.3a	5.7a	109.7a	93.7a	12.7a
Cultivar												
Amarilla	1323.3a	395.9a	0.31b	188ab	213.7a	148.7a	1.3a	6.1a	5.5a	110.3a	79.2a	12.9a
Monarca	1007.9b	368.7a	0.36a	204a	187b	150.2a	1.3a	5.8a	5.2a	109.4a	79.2a	12.9a
Diamante	898.18c	307b	0.33ab	168b	181.9b	142.4a	1.2a	4.6a	4.9a	106.7a	76.4a	12.6a

Biomasa a madurez fisiológica (Biom), rendimiento de semilla (Rto), índice de cosecha (IC), número de semilla m⁻² (NS), peso de 100 semillas (P100G), vainas m⁻² (NV), semillas por vaina (SPV), ramas por planta (NRP), ramas productivas por planta (NRPP), altura de planta (AP), vaina total (NVtot) y nudos productivos por planta (NPP). Medias unidas por la misma letra no difieren significativamente con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

Al analizar la producción de biomasa e índice de cosecha se observó, que el rendimiento de semilla se relacionó positivamente con la biomasa acumulada en madurez (Figura 2a), en ambos sistemas de siembra al incrementar el número de plantas m⁻² se incrementó la biomasa por unidad de superficie. La evidencia en la literatura revela que en los cultivos de grano el rendimiento es explicado principalmente por cambios en la producción de biomasa (Lesjak y Calderini, 2017; Woldeselassie y Admasu, 2018).

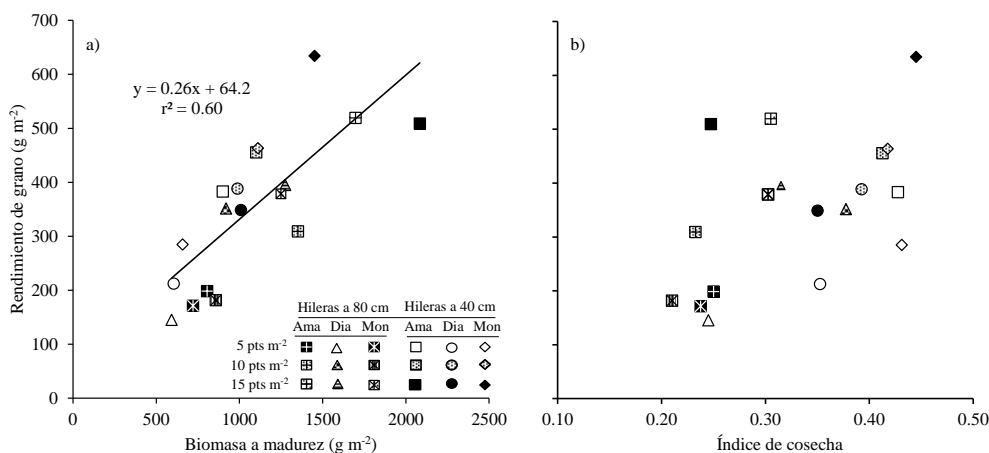


Figura 2a. Relaciones entre el rendimiento de grano con la biomasa a madurez (a) y con el índice de cosecha (b) para tres genotipos de haba, cultivados en dos distanciamientos entre hileras y tres densidades de siembra en Toluca, Estado de México.

El rendimiento en la mayoría de los cultivos de granos está fuertemente relacionado con el número de granos cuando se modifican las prácticas de manejo (genotipo, densidad, fertilización, etc.) (Echarte *et al.*, 2000; Derogar y Mojaddam, 2014). Al considerar a los genotipos, densidades y distanciamiento entre hileras el rendimiento de grano fue explicado principalmente por cambios en el número de semillas por unidad de superficie ($r^2= 0.9$, $p < 0.001$) dado que no existió ninguna relación entre el rendimiento y el peso individual de semilla.

Aumentos en la densidad de plantas se manifestaron en mayor rendimiento de semilla y en mayor medida en el distanciamiento entre hileras de 40 cm. El cultivar Monarca logró el mayor número de semillas por unidad de superficie y el más alto rendimiento cuando la densidad de población fue de 15 plantas m^{-2} (Figura 3).

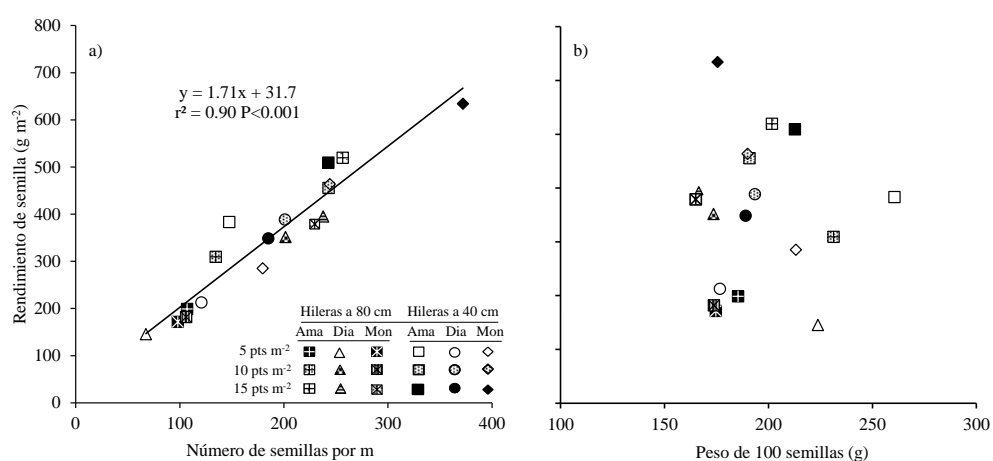


Figura 3. Relaciones entre el rendimiento de semilla con el número de semillas m^{-2} (a) y con el peso de 100 semillas (b) para tres genotipos de haba, cultivados en dos distanciamientos entre hileras y tres densidades de siembra en Toluca, Estado de México.

El número vainas por unidad de superficie fue más sensible a los cambios en el distanciamiento entre hileras, densidad de población y genotipo, explicando fuertemente los cambios observados en el número de semillas m^{-2} ($r^2= 0.78$, $p < 0.01$), mientras que, el número de semillas por vaina explicó ligeramente los cambios en el número de semillas m^{-2} ($r^2= 0.32$, $p < 0.05$) (Figura 4). Resultados por investigadores indican que el número de vainas es más fuertemente afectado por cambios en la densidad de población que el número de granos por vaina (Derogar y Mojaddam, 2014; Gezahegn *et al.*, 2016). El cultivar con mayor número de vainas fue Monarca cuando se estableció a 40 cm entre hileras y con 15 plantas m^{-2} .

Al analizar de manera conjunta los principales componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento se definieron dos componentes principales que agrupan 78.4% de la variabilidad del conjunto de datos. En el plano formado por estos dos componentes principales la variabilidad del conjunto de datos corresponde a rendimiento, número de semillas por m^2 y biomasa, en donde la biomasa se correlaciona tanto con rendimiento, como con el número de semillas por unidad de superficie, dando así una varianza de 54.3%. El IC resultó altamente correlacionado con el componente 2, con una varianza remanente de 24.1% (Figura 5).

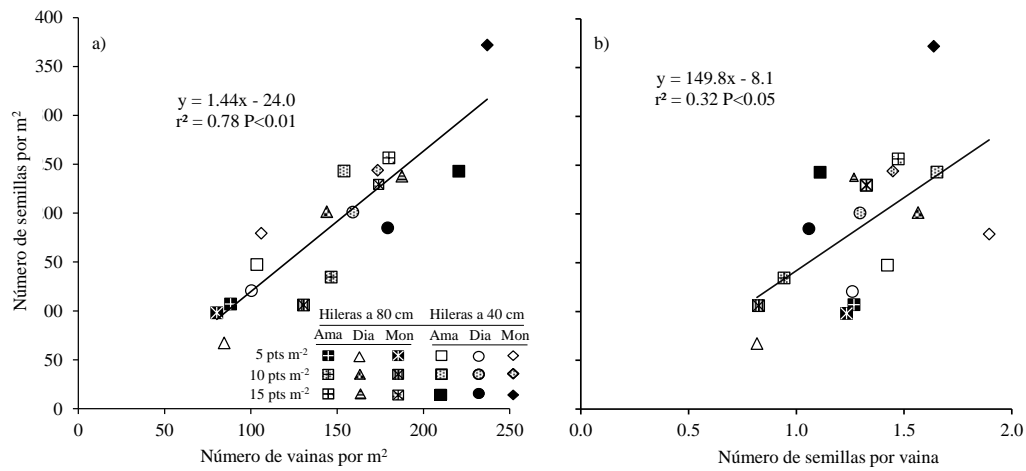


Figura 4. Relaciones entre el número de semillas m⁻² con el número de vainas m⁻² (a) y con el número de semillas por vaina (b) para tres genotipos de haba, cultivados en dos distanciamientos entre hileras y tres densidades de siembra en Toluca, Estado de México.

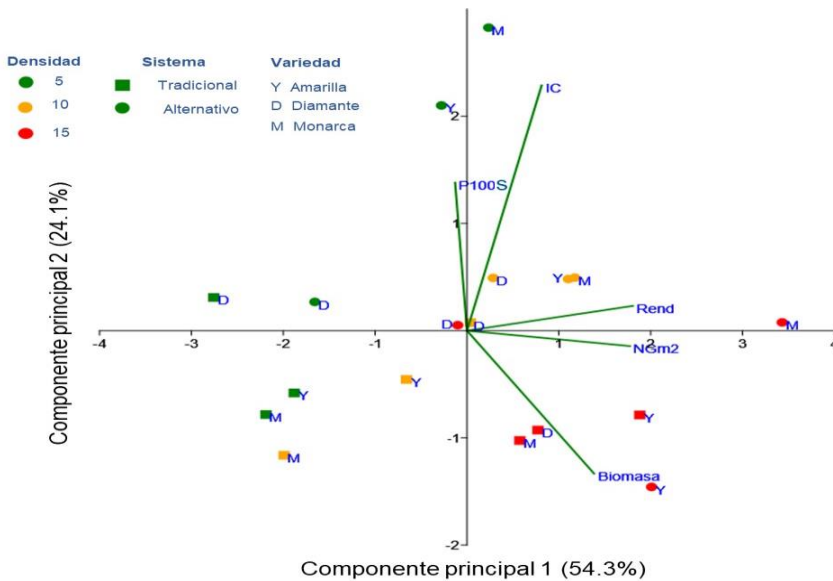


Figura 5. Análisis multivariado de los principales componentes para la generación del rendimiento, para tres genotipos de haba, cultivados en dos distanciamientos entre hileras y tres densidades de siembra en Toluca, Estado de México.

El peso de 100 semillas estuvo correlacionado con el componente principal 3; sin embargo, no representó una varianza significativa. También se puede observar que en los cuadrantes 2 y 3 se encuentran las densidades más bajas (5 plantas m⁻²), los cuales correspondieron a valores bajos en las variables evaluadas. En la parte media del plano se encuentra la densidad de 10 plantas m⁻² y en los cuadrantes 1 y 4 encontramos a las densidades altas (15 plantas m⁻²), mismas que presentan valores altos para las variables estudiadas.

Para el caso de densidades bajas se observa un peso mayor de semilla para ambos sistemas, el índice de cosecha se relacionó de mayor manera con la reducción en el espacio entre hileras, rendimiento y número de semillas se relaciona más con densidades altas para ambas distancias entre hileras, mientras que la biomasa se correlacionó mayormente con el sistema tradicional de siembra.

Conclusiones

Con el distanciamiento entre hileras de 40 cm se obtuvo mayor producción de biomasa y rendimiento de semilla comparado con el sistema tradicional (80 cm entre hileras). Incrementos en la densidad de población mostraron efectos positivos en el rendimiento de semilla y sus principales componentes en ambos espaciamientos entre hileras. Se observa que la variabilidad mayor en este experimento se debió a las densidades seguidas de las distancias entre hileras (SA 40 cm) y (ST 80 cm). De igual manera los genotipos mostraron un comportamiento diferencial, siendo Monarca el que presentó rendimiento alto de semilla a través de densidades y sistemas de siembra. La mejor combinación densidad-cultivar se obtuvo con Monarca y 15 plantas m⁻² bajo el sistema tradicional seguido del cultivar Amarilla en la misma densidad y para el mismo sistema.

Agradecimientos

El autor Rogelio Araujo Díaz agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que le permitió terminar sus estudios de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. El presente trabajo fue parte del proyecto 'Atributos ecofisiológicos del rendimiento y producción de biomasa en cultivos de grano modificados por la densidad de población y sistema de siembra' con clave de registro en la UAEMex. 6350/2021SF.

Literatura citada

- Aldas, M. J. y Jiménez, E. U. 2007. Análisis multivariante aplicado con R. 2^{da}. Ed. Madrid, España. Ediciones Paraninfo, SA. 679 p.
- Almeida, F. A. C.; López, B. L.; Fuentes, M. and Castillo, J. E. 1995. Effect of plant density on growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Mediterranean conditions. *In*: AEP. Ed. Proceeding of second European conference on grain legumes. 9-13 pp.
- Al-Suhaibani, N.; El-Hendawy, S. and Schmidhalter, U. 2013. Influence of varied plant density on growth, yield and economic return of drip irrigate vein (*Vicia faba* L.). *Turkish J. Field Crops*. 18(2):185-197.
- Bakry, B. A.; Elewa, T. A.; Karamany, M. F. and Tawfik, M. M. 2011. Effect of row spacing on yield and its components of some faba bean varieties under newly reclaimed sandy soil condition. *World J. Agric. Sci*. 7(1):68-72.
- Cárcova, J.; Borrás, L. y Otegui, M. E. 2015. Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. *Producción de granos. Base para su manejo*. Ed. Facultad de Agronomía UBA Buenos Aires. 75 p.
- Ciampitti, I. A. and Vyn, T. J. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Res*. 121(1):2-18.
- Coelho, J. C. 1987. Density studies on faba bean (*Vicia faba*). *Fabis Newslett*. 18(1):22-24.

- Confalone, A.; Lizaso, J.; Ruíz, B. y Sau, F. 2011. Modelización de la fenología del haba cv Alameda. Rev. de la Facultad de Cienc. Agr. 43(1):75-84.
- Derogar, N.; Mojaddam, M. and Nejad, T. S. 2014. The effect of plant population on growth parameters and seed yield of faba bean. Inter. J. Bios. 4(3):149-157.
- Echarte L.; Luque S.; Andrade F. H.; Sadras V. O.; Cirilo A.; Otegui M. E. and Vega C. R. C. 2000. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. Field Crops Res. 68(1):1-8.
- Estrada, C. R.; Jarillo, J.; Aragón, A. J.; Juárez, D. and Patrón, J. C. 2017. Productividad forrajera de haba bajo diferentes condiciones de manejo. Agron. Costarric. 41(1):95-103.
- FAOSTAT. 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Gezahegn, A. M.; Tesfaye, K.; Sharma, J. J. and Bele, M. D. 2016. Determination of optimum plant density for faba bean (*Vicia faba* L.) on Vertisols at Haramaya, Eastern Ethiopia. Cogent Food & Agriculture. 2(1):1-10. <http://dx.doi.org/10.1080/23311932.2016.1224485>.
- Gil, G. H.; Martínez, R. C. G. y Estrada, C. G. 2014. Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 5(6):951-964.
- González, H. A.; Sahagún, C. J.; Vázquez, L. M.; Rodríguez, J. E.; Pérez, D. J.; Domínguez, L. A.; Franco, O. y Balbuena, M. A. 2009. Identificación de variedades de maíz sobresalientes considerando el modelo AMMI y los índices de Eskridge. Agric. Téc. Méx. 35(2):189-200.
- Khalil, S. K.; Wahab, A. and Khan, A. Z. 2011. Variation in leaf traits, yield and yield components of faba bean in response to planting dates and densities. Egypt. Acad. J. Biolog. Sci. 2(1):35-43.
- Kruk, B.; Satorre, E. H. L. y Otegui, M. E. 2015. Densidad y arreglo espacial del cultivo. Producción de granos. Base para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía UBA Buenos Aires. 27 p.
- Lesjak, J. and Calderini, D. F. 2017. Increased night temperature negatively affects grain yield, biomass and grain number in Chilean Quinoa. Front. Plant Sci. 8(1):3-52.
- López-Bellido, F. J.; López-Bellido, L. and López-Bellido, R. J. 2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). Eur. J. Agron. 23(4):359-378.
- Marcelos, H. and Constable, G. A. 1986. Effects of plant density and sowing date on grain yield of faba beans (*Vicia faba* L.) in Northern New South Wales. Aust. J. Exp. Agric. 26(4):493-496.
- Matthews, P. W.; Carpenter, D. J.; Smith, A. and Fettell, N. 2001. Faba bean seeding rates for central and southern New South Wales. In Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference. Hobart: Australian Society of Agronomy. Icarus. 3(1):1-4.
- Orozco, N. C.; Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Gutiérrez, R. F.; Rubí, A. M.; Castañeda, V. A. and Balbuena, M. A. 2013. Identificación de poblaciones sobresalientes de haba colectadas en el Estado de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 4(6):921-932.
- Palaniswamy, U. R. and Palaniswamy, K. M. 2006. Handbook of statistics for teaching and research in plant and crop science. The Harworth, Press, Inc., New York. 624 p.
- Salas, C. 2008. ¿Por qué comprar un programa estadístico si existe? Ecología austral. 18(2):223-231.
- SIAP. 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola-siap-gb/identidad/index.jsp>.

- Tamrat, W.; Loha, G. and Habte, A. 2019. Effect of plant density on yield components and yield of Faba bean (*Vicia Faba* L.) varieties at Wolaita Sodo, Southern Ethiopia. *J. Nat. Sci. Res.* 9(5):47-55.
- Thalji, T. 2010. Effect of plant density on seed yield and agronomic characters of faba bean (*Vicia faba* L.) under greenhouse conditions. *Bio. Res.* 7(1):22-25.
- Woldeselassie, M. T. and Admasu, D. 2018. Effect of different sowing dates and varieties on growth and yield of lentil (*Lens culinaris* Medikus) in the highland vertisols of north Shewa, Ethiopia. *Malaysian J. Med. Biol. Res.* 5(2):117-122.
- Zhang S.; Sadras, V.; Chen, X. and Zhang, F. 2014. Water use efficiency of dryland maize in the Loess Plateau of China in response to crop management. *Field Crops Res.* 163(1):55-63.