



Universidad Autónoma del Estado de México

Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Caracteres ecofisiológicos y numéricos del rendimiento en haba afectados por la densidad y sistema de siembra

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO EN MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

IAF. ROGELIO ARAUJO DIAZ

Campus Universitario “El Cerrillo”, Toluca, México, noviembre de 2021





Universidad Autónoma del Estado de México

Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Caracteres ecofisiológicos y numéricos del rendimiento en haba afectados por la densidad y sistema de siembra

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO EN MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A
IAF. ROGELIO ARAUJO DIAZ

Comité de tutores

DR. GASPAR ESTRADA CAMPUZANO (Tutor Académico)

Dr. CARLOS GUSTAVO MARTÍNEZ RUEDA (Tutor Adjunto)

Dr. AURELIO DOMÍNGUEZ LÓPEZ (Tutor Adjunto)

Campus Universitario "El Cerrillo" Toluca, Estado de México. noviembre de 2021



Índice general

Índice general.....	i
Índice de cuadros.....	iii
Índice de figuras.....	v
Resumen.....	vii
Abstract.....	ix
I Introducción.....	11
II Antecedentes.....	15
2.1 Origen del haba.....	15
2.2 Usos del haba.....	16
2.2.1 Alimentación.....	16
2.2.2 Abono verde.....	17
2.2.3 Combustibles.....	17
2.2.4 Importancia Mundial.....	18
2.2.5 Importancia Nacional.....	19
2.2.6 Importancia Estatal.....	20
2.3 Ecofisiología del rendimiento.....	21
2.3.1 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC).....	22
2.3.2 Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	23
2.3.3 Índice de área foliar (IAF).....	23
2.3.4 Tasa de asimilación neta (TAN).....	23
2.3.5 Duración del área foliar (DAF).....	24
2.4 Densidad de población.....	24
2.6 Elección del genotipo.....	26
2.7 Importancia de la nutrición mineral.....	26
III Planteamiento del problema.....	27
3.1 Justificación.....	27
3.2 Hipótesis.....	28
3.3.1 Objetivo general.....	29
3.3.2 Objetivos específicos.....	29
IV Materiales y métodos.....	30

4.1 Ubicación del experimento	30
4.2 Estructura de tratamientos y diseño experimental	30
4.3 Condiciones generales del experimento	31
4.4.4 Inicio de la fructificación	32
4.4.5 Madurez fisiológica	32
4.5 Radiación fotosintéticamente activa interceptada	32
4.6 Producción de biomasa	33
4.8 Índice de área foliar	34
Rendimiento de grano y sus componentes	34
V Resultados	35
5.1.1. Condiciones climáticas	35
5.2. Resultados y discusión para los atributos ecofisiológicos determinantes de la producción de biomasa.	48
VII Discusión general	60
VIII Conclusiones	66
III Bibliografía	68

Índice de cuadros

Cuadro 1 participación de los estados de la república mexicana en la producción del cultivo de haba (SIAP 2010)..... 20

Cuadro 2 . Valores de F y su significancia estadística para las variables biomasa a madurez fisiológica (Biom), rendimiento de semilla (Rend), índice de cosecha (IC), número de semillas por m² (NG), peso de 100 semillas (P100S), número de vainas por m² (NV), número de semillas por vaina (NSPV), número de ramas por planta (NRPP), número de ramas productivas por planta (NRPPP), altura de planta (AP), número de vainas total (NVtot) y número de nudos productivos por planta (NNPPP), para tres cultivares de haba crecidos en dos sistemas de siembra y tres densidades de población, en Toluca estado de México. 38

Cuadro 3 Valores promedio para las variables biomasa a madurez fisiológica (Biom), rendimiento de grano (Rend), índice de cosecha (IC), número de granos por m² (NG), peso de 100 granos (P100G), número de vainas por m² (NV), número de granos por vaina (NGPV), número de ramas por planta (NRPP), número de ramas productivas por planta (NRPPP), altura de planta (AP), número de vainas total (NVtot) y número de nudos productivos por planta (NNPPP), para tres cultivares de haba crecidos en dos sistemas de siembra y tres densidades de población, en Toluca estado de México..... 41

Cuadro 4 Valores de F y su significancia estadística para área foliar en antesis (AF_{ant}), índice de área foliar máximo (IAF_{max}), materia seca en antesis (MS_{ant}), materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), radiación interceptada acumulada antesis (RIA_{ant}), radiación interceptada acumulada en madurez (RIA_{ciclo}), eficiencia

del uso de la radiación a antesis postantesis (EUR_{ant}), eficiencia del uso de la radiación en madurez (EUR_{ciclo}), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo (TCR), duración del área foliar (DAF), para 3 genotipos de haba cultivados en dos sistemas de siembra y en 3 densidades en Toluca, México..... 51

Cuadro 5 Valores medios para área foliar en antesis (AF_{ant}), índice de área foliar máximo (IAF_{max}), materia seca en antesis (MS_{ant}), materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), radiación interceptada acumulada antesis (RIA_{ant}), radiación interceptada acumulada en madurez (RIA_{ciclo}), eficiencia del uso de la radiación a antesis postantesis (EUR_{ant}), eficiencia del uso de la radiación en madurez (EUR_{ciclo}), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo (TCR), duración del área foliar (DAF), para 3 genotipos de haba cultivados en dos sistemas de siembra y en 3 densidades, en Toluca México..... 52

Índice de figuras

Figura 1 Superficie (a), rendimiento (b) y producción (c) de los diez principales países y México productores de haba (FAOSTAT, 2019).	19
Figura 2 Producción de vaina verde, grano seco en Estado de México, superficie sembrada a), producción b) y rendimiento c), (SIAP 2019).....	21
Figura 3 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 Toluca Estado de México.	36
Figura 4 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.	44
Figura 5 Relaciones entre el rendimiento de semilla con el número de semillas por m ² (a) y con el peso de 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.	45
Figura 6 Relaciones entre el número de semillas por m ² con el número de vainas por 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.	46

Figura 7 Altura de planta (a) y número de nudos productivos por planta (b) para tres cultivares de haba cultivados en tres densidades de población y dos espaciamientos entre hileras en Toluca Estado de México. Líneas verticales en cada barra indican el error estándar de la media.47

Figura 8 Relaciones entre biomasa a madurez fisiológica y la radiación interceptada acumulada (a) y eficiencia de uso de la radiación (b) para tres genotipos de haba cultivados en dos espaciamientos entre hileras (40 y 80 cm) y tres densidades de población en el ciclo invierno-primavera 2019-2020, en Toluca Estado de México.54

Figura 9 Relaciones entre eficiencia de intercepción e índice de área foliar para distanciamiento entre hileras (SA: 40 cm, ST: 80 cm) (a), densidades de población (b) y cultivares (c) para 3 genotipos de haba cultivados en dos espaciamientos entre hileras y tres densidades de población en Toluca Estado de México.55

Figura 10 Relaciones entre índice de área foliar y los días después de la emergencia del cultivo para los distanciamientos entre hileras (SA: 40 cm, ST: 80 cm) (a), densidades de siembra (b) y cultivares (c) evaluados en Toluca Estado de México.57

Figura 11 Relaciones entre los índices de crecimiento y densidad de plantas por metro cuadrado para tasa de crecimiento de cultivo (TCC) (a), tasa de crecimiento relativo (TCR) (b), tasa de asimilación neta (TAN) (c) y duración del área foliar (DAF), durante el periodo crítico para tres cultivares de haba cultivados en dos espaciamientos entre hileras y tres densidades de población en Toluca, México.59

Resumen

El haba (*Vicia faba* L.) tiene una gran importancia como fuente de proteína para un amplio sector de la población rural y urbana de México. El haba de la subespecie o variedad mayor, se adapta favorablemente a las condiciones climáticas que imperan en los valles centrales de México y forma parte de la dieta de los grupos culturales que habitan esta región. En la actualidad su cultivo ha cobrado mayor importancia debido al beneficio que se obtiene en rotación con otros cultivos, pero principalmente por el aumento en el precio del grano seco, sin que existan evidencias que indiquen mejoras en sus rendimientos unitarios en los últimos años. El objetivo de esta investigación fue evaluar los componentes fisiológicos, numéricos e índices de crecimiento en el rendimiento de haba afectados por la densidad de plantas (5, 10, 15 plantas por m²) y la distancia entre hileras (80 cm sistema tradicional, 40 cm sistema alternativo) en tres cultivares (Amarilla, Diamante, Monarca

Con el distanciamiento entre hileras de 40 cm se obtuvo mayor producción de biomasa y rendimiento de semilla. Al aumentar la densidad se incrementó el número de semillas mientras que el peso individual disminuyó 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 espaciamentos entre hileras. Los genotipos mostraron un comportamiento diferencial, siendo Monarca el que obtuvo el rendimiento de grano más alto a través de densidades y sistemas de siembra. La mejor combinación densidad-cultivar se obtuvo con Monarca y 15 plantas por m² bajo el sistema tradicional seguido del cultivar Amarilla en la misma densidad y para el mismo sistema.

Al evaluar los índices de crecimiento se encontró que la tasa de aparición de hojas no influyó en la eficiencia en el uso de la radiación, ya que no estuvo relacionada con la cantidad de radiación interceptada (RIA), al aumentar la densidad de población aumentó de manera positiva la eficiencia en el uso de la radiación (EUR), mientras que la eficiencia de intercepción llegó al 90% en distanciamiento a 40 cm contra un 60% que se obtuvo con distancias a 80 cm. En cultivar que presentó la

mayor eficiencia de intercepción fue Monarca. El índice de área foliar (IAF) fue mayor para el sistema alternativo, la densidad más alta y el cultivar Monarca. La tasa de crecimiento del cultivo (TCC) aumentó al reducir la distancia entre hileras al igual que la tasa de crecimiento relativo (TCR) mientras que la duración de área foliar (DAF) no presentó diferencias significativas contrastando con la tasa de asimilación neta (TAN) en la cual el sistema alternativo resaltó significativamente. El mayor rendimiento de grano se obtuvo con una distancia de 40cm entre hileras con una densidad de 10 plantas por m² y el cultivar Monarca, . Sin embargo, el cultivar Amarilla sobresalió por su mayor peso individual de grano. Los resultados obtenidos prueban que en los valles altos resulta viable modificar el sistema de producción de haba que originalmente se adaptó del cultivo de maíz. Palabras clave: *Vicia faba L var. Mayor*, rendimiento de grano, biomasa, índice de cosecha, índices de crecimiento.

Abstract

The faba bean is of great importance, especially the dry grains and green pods since they are of great nutritional value that, prepared in various food dishes, provide essential nutrients for the nutrition of the Mexican population, the faba bean is mainly the largest variety, found in Mexico not only the climatic conditions for the development of this legume, also found a great diversity of culture that welcomed it and integrates with pleasure to its diet. At present the cultivation of faba beans has taken on an importance due to the benefit obtained by using crop rotation, but mainly due to the increase in the price of this legume, in a long time the cultivation of faba beans has not been updated in favor of improve yields.

The objective of this research was to evaluate the physiological, numerical and harvest index components in faba bean yield affected by plant density (5, 10, 15 plants per m²) and the distance between rows (80 cm traditional system, 40 cm alternative system) in three cultivars (Yellow, Diamond, Monarch), biomass production was evaluated firstly through its physiological components (intercepted radiation and efficiency in the use of radiation) and secondly through the indices growth.

With the distance between rows of 40 cm, higher biomass production and seed yield were obtained compared to the traditional system (80 cm between rows). Increases in population density showed positive effects on seed yield and its main components in both row spacing. The genotypes showed a differential behavior, being Monarch the one that presented the highest grain yield through densities and sowing systems. The best density-cultivar combination was obtained with Monarca and 15 plants per

square meter under the traditional system followed by the Amarilla cultivar in the same density and for the same system.

In the second stay, when evaluating the growth rates, it was found that the rate of leaf appearance did not influence the efficiency in the use of radiation, since no relationship was found for the case of (RIA), when increasing the number of plants per square meter increases positively the (EUR), while the interception efficiency reached 90% in the case of the alternative system against 60% obtained by the traditional system, in the case of cultivars the one that presented the highest efficiency of interception was the monarch cultivar, the (IAF) was higher for alternative system, the highest density and the monarch cultivar. The (TCC) increases when the distance between rows is reduced, as does (TCR), while the (DAF) does not present significant differences, contrasting with the (TAN) in which the alternative system stands out in a statistically significant way.

Keywords: *Vicia faba* L var. Higher, grain yield, biomass, harvest index, growth rates.

I Introducción

1 El haba (*Vicia faba* L.) pertenece a la familia Fabaceae o Leguminosae, (FAO, 2016).
2 Aunque aún no hay consenso sobre el sitio exacto de su origen, existen formas primitivas
3 (*Vicia faba* L paucijuga) que aún se pueden encontrar desde Afganistán hasta India. A
4 pesar de que presentan bajo peso individual de semillas (0.25 g) estas contienen la forma
5 característica de las habas que conocemos hoy en día(Duc, 1995).

6 El haba se consume en todo el planeta, empleándose en guisos, harinas, purés,
7 guarniciones, aperitivos o postres. Es una de las fuentes más ricas en proteínas y
8 aminoácidos esenciales que sirve de complemento perfecto junto a los cereales, ya que
9 una cantidad importante de carbohidratos de una dieta balanceada y micronutrientes, así
10 como fibra alimentaria de calidad (FAO, 2016).

11 En el mundo para el año 2019 se cosecharon un total de 3,661,959 toneladas de grano
12 seco, teniendo un rendimiento promedio mundial de 2.1 ton/ha. (FAOSTAT, 2019), siendo
13 China, Etiopia, Reino Unido, Australia y Francia, los principales países productores,
14 situando a México en el lugar 13 entre los países con mayor producción de esta
15 leguminosa, mientras que los países que destinan la mayor cantidad de superficie están,
16 China, Etiopia, Australia, Reino unido y Marruecos (FAOSTAT, 2019).

17 Recientes estudios señalan que el consumo de haba aporta múltiples beneficios a la
18 salud humana, como el control de peso, control de cardiopatías, es fuente importante de
19 hierro y proteína de calidad, además que es sabido que las leguminosas están libres de
20 gluten y ayudan a mantener activa la perspectiva cognitiva, entre otras más (Díaz y
21 Escalante 2009; FAO 2016).

1 Para México, así como para el resto del mundo el principal órgano de interés para
2 consumo humano es la semilla ya sea fresca o seca, y el resto de la planta para forraje
3 (Guadarrama, 2007). México tiene una gran tradición culinaria, donde el haba encontró
4 en todo el territorio un lugar para expresar todas las bondades que ofrece esta
5 leguminosa (López, 2011). La importancia de las leguminosas en México se basa
6 principalmente en la superficie agrícola que se destina a su cultivo, en primer lugar
7 destaca el frijol (*Phaseolus vulgaris* L) ocupando el 81.6% de extensión, seguido de la
8 soya (9.87%), en tercer lugar, se ubica el garbanzo (6.84%), mientras que el haba ocupa
9 el cuarto lugar con el 1.39% de extensión, en quinto lugar, se encuentra la lenteja con
10 solo el 0.55% de la superficie cultivada por leguminosas (FAOSTAT, 2019).

11 México se ubica en el lugar 21 en la producción de haba, siendo China el país que ocupa
12 el primer lugar (FAOSTAT, 2019). A nivel nacional el estado de México se posiciona en
13 segundo lugar con un total de 5,976 ha, de las cuales el 94.6% se destina a la producción
14 y cosecha de haba en verde y el 5.4% restante se destina a la cosecha de grano seco
15 (SIAP, 2019).

16

17 **Ecofisiología del rendimiento en haba**

18 En los cultivos de grano, el rendimiento de semillas se puede visualizar como el resultado
19 de un conjunto de eventos y componentes morfológicos que se van generando durante
20 el desarrollo del cultivo quedando cada uno fijos en distintos momentos (Carcova *et al*,
21 2015). Lake and Sadras (2016), mencionan que la reducción en el rendimiento de grano
22 está asociada con sucesos que ocurren durante el periodo crítico de los cultivos, mientas
23 que para Mahadevan *et al.* (2016) y Savin and Sorlino (2015) el rendimiento se ve
24 afectado por factores como disponibilidad de nutrientes, establecimiento de lluvias,

1 temperaturas, fecha de siembra, genotipos y densidad de siembra. Estos factores afectan
2 directamente y de forma significativa e irreversible a la expansión de las hojas y la
3 cobertura del dosel lo que conlleva a una reducción más severa y esto se ve reflejada en
4 menor rendimiento de grano (Lake and Sadras, 2014).

5 La densidad de población se reconoce como el factor más importante que regula calidad
6 y cantidad de radiación interceptada ya que los mecanismos de compensación de las
7 plantas son diferentes, tales como: ramificación, producción de macollos, expansión foliar
8 (Kruk y Satore 2015). Otros factores que afectan la calidad de la radiación interceptada
9 es la reducción del área foliar por efecto directo de hongos, bacterias, virus e insectos
10 (Herranz, et al. 2017).

11 La importancia de la radiación solar sobre las plantas se expresa en foto-energéticos, que
12 involucran la fotosíntesis y que están relacionados con el crecimiento (Salisbury y Ross,
13 1994). La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) se utiliza para medir el efecto de la
14 radiación incidente en los cultivos y su rendimiento, en este sentido, los procesos vitales
15 como la fotosíntesis, la respiración y el rendimiento tienen una relación indirecta con el
16 índice de área foliar (IAF), ya que son las hojas las estructuras que interceptan la
17 radiación (Aguirre et al, 2011). Una vez que ocurre la asimilación de foto-asimilados estos
18 se transforman en biomasa. Al respecto, Morales et al. (2009) mencionan que la tasa de
19 asimilación neta TAN es la cantidad de biomasa acumulada, en función del área foliar
20 que desarrolla un cultivo durante un determinado periodo de tiempo. Al comparar el
21 crecimiento absoluto o relativo de la planta se mide la biomasa por unidad de biomasa y
22 estos por tiempo. Kantolic *et al.* (2015), comentan que el rendimiento se va logrando en
23 el ciclo de cultivo en forma secuencial, generando los componentes y sus
24 subcomponentes del rendimiento de grano, ya que los granos crecen a partir de las

1 sustancias que sintetiza o retransloca la planta y que en este proceso el ambiente es el
2 que determina cuanto se genera y de lo generado cuanto sobrevive. Entre las prácticas
3 de manejo que permiten maximizar el rendimiento de grano se encuentran la elección del
4 genotipo, la densidad y método de siembra, la nutrición mineral, entre otras. (Modh *et al*,
5 2004). Con relación a la densidad de población, actualmente no se sabe cómo se
6 comportan los cultivares de haba (var. Mayor) a cambios en el arreglo espacial dado
7 por la separación entre hileras y entre plantas y también es poca la información existe de
8 cómo son afectados los atributos de la generación del rendimiento por efecto de cambios
9 en la densidad de siembra. Con base en lo anterior, se estableció el presente trabajo con
10 el objetivo de estudiar el efecto del cultivar, la separación entre hileras y la densidad de
11 plantas por unidad de superficie, sobre los componentes fisiológicos y numéricos del
12 rendimiento de semilla en haba.

13

II Antecedentes

2.1 Origen del haba

El haba es una de las leguminosas más antiguas que ha servido como alimento para el hombre (Duc,1995). De acuerdo con Caracuta *et al.* (2015) se ha realizado pruebas de carbono catorce a yacimientos de habas encontradas en la región baja de Galilea, el análisis demostró que estas habas son del neolítico anterior a la alfarería. Aunque no se ha encontrado el progenitor silvestre del haba, el lugar de origen aceptado por la mayoría de los científicos es la región que comprende de Afganistan hasta India (Zohary and Hopf 1973), debido a que Duc (1997) menciona que ahí se encuentra *V. faba paucijuga* que se acepta como uno de los ancestros del que hoy conocemos como haba (*V. faba* L.).

Cubero 1974 propone la evolución botánica del haba comenzando con las semillas grandes, chicas, equinas y paucijuga (*V. faba* mayor), (*V. faba* minor), (*V. faba* equina) (*V. faba* paucijuga) respectivamente. Esta clasificación fue realizada de acuerdo con el peso de la semilla, Cruz et al. (2006) describieron a las semillas grandes “mayor” como aquellas que tienen un peso de entre 1 y 2.5 gramos que se emplean para el consumo humano; las semillas “minor”, son pequeñas con forma elipsoidal, de peso menor a 1 g y por su alto contenido de proteína se usa para alimentación humana y animal. Las semillas de la variedad botánica “equina” son aplanadas con pesos de entre 0.7 a 1 gramo, se utiliza principalmente para alimentar el ganado, mientras que la semilla paucijuga es la semilla más pequeña pesa solo 0.25 g, es una especie silvestre con vainas indehiscentes.

Vicia faba mayor se desarrolló en los países del sur del mediterráneo y en China y ésta se expandió en el siglo XVI hacia México y Sudamérica. Por su parte *Vicia faba* minor se encuentra en el área de Etiopia y fue adoptada por los agricultores en Europa, Mientras

1 que *Vicia faba* equina se desarrolló en oriente medio y África del norte con una marcada
2 concentración en Egipto (Cubero, 1974).

3 **2.2 Usos del haba**

4

5 **2.2.1 Alimentación**

6 Las habas, especialmente en forma de granos secos, son alimentos tradicionales con
7 creciente demanda internacional, utilizadas principalmente en alimentación humana, con
8 diversificación, valor agregado y como ingredientes alimenticios, por sus extraordinarias
9 propiedades nutritivas y sin saber los beneficios del haba fue complemento de la dieta
10 humana y ha acompañado al hombre en su evolución y su expansión en todo el mundo,
11 llegando a la mayor parte del mundo excluyendo las regiones climáticas extremas de
12 calor y frío (FAO, 2016). Las legumbres se consumen de muchas formas y en variados
13 tipos de comida según la cultura de cada país o región el haba se considera una especie
14 con atributos alimenticios, biológicos y medicinales que aportan beneficios al ser humano
15 al ser consumidas, destaca como una planta medicinal potencial con impacto en
16 tratamientos farmacológicos terapéuticos (Bond, 1985). Duc (1997) menciona que el
17 contenido de proteínas en haba varía entre genotipos de 27 al 34% de la materia seca
18 de las semillas, de la cual el 80% son globulinas (fracciones de vicilina y leguminosas),
19 además de contener taninos y estos se consideraran los principales factores anti
20 nutricionales que reducen el aprovechamiento de las proteínas y su buena digestibilidad.
21 En cuanto a la calidad nutritiva Tazart *et al.* (2016) mencionan que el haba aporta en
22 complemento de otros alimentos a la dieta humana, proteínas, calcio, hierro y zinc, mejora
23 el contenido de fibra dietética y ácidos grasos insaturados.

24

1 **2.2.2 Abono verde**

2 Carreño y Ditchburn (1998), definen al abono verde como la utilización de plantas en
3 asociación, rotación o sucesión, con cultivos, incorporados al suelo o dejados sobre la
4 superficie. El nitrógeno elemental se encuentra en grandes cantidades en la atmósfera,
5 constituyendo el 78 % del total de la composición del aire. En haba la acción de algunos
6 grupos de bacterias y arqueas permiten a la planta fijar este gas e incorporarlo, las
7 bacterias *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, integrantes de la microbiota autóctona del suelo,
8 provocan la formación de nódulos en las raíces de algunas plantas entre ellas el haba (*V.*
9 *faba* L), Las bacterias fijan el nitrógeno atmosférico y lo incorporan a la base proteica del
10 vegetal (Nelson y Cox 2009). Aunque las leguminosas y entre ellas las habas tienen la
11 capacidad de fijar nitrógeno, Mera (2015) estimó que la cantidad de fijación es variable.
12 Asimismo, siempre es necesario e importante señalar, que el abono verde de especies
13 leguminosas aporta solamente nitrógeno, ya que los demás elementos fueron extraídos
14 del suelo para su crecimiento. En consecuencia, la deficiencia del suelo de otros
15 elementos se debe resolver con otras aplicaciones (Olivera, 2007).

16

17

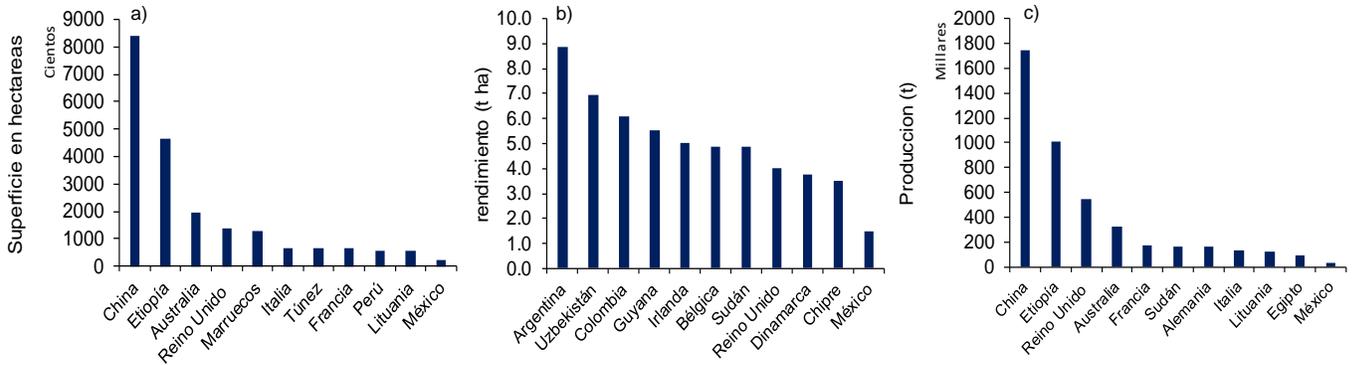
18 **2.2.3 Combustibles**

19 El uso de materiales ricos en celulosa y lignocelulosa para la fabricación de bioetanol y
20 biogás es ya conocido, por ejemplo Petersson et al. (2007) al utilizar la paja de haba para
21 la producción de estas fuentes de bioenergía, encontró que es viable para la producción,
22 aunque por el momento no es económicamente redituable.

23

1 **2.2.4 Importancia Mundial**

2 En el año 2019 se cosecharon 88,379,804 toneladas de granos de las principales
3 leguminosas, dejando al haba en el sexto lugar con un total de 5,431,503 toneladas es
4 decir 6.1% del total de semillas secas de legumbres producidas ese año (FAOSTAT,
5 2019). Entre los diez principales países con mayor participación en la producción de esta
6 leguminosa encontramos a China, Etiopia, Inglaterra, Australia, Francia, Sudan,
7 Alemania, Italia, Lituania, Egipto, mientras que México se ubica en el lugar 21 de los
8 países con mayor participación (Figura 1c). Los países que destinan la mayor extensión
9 para sembrar esta semilla son: China, Etiopia, Australia, Inglaterra, Marruecos, Italia,
10 Túnez, Francia, Perú, Lituania quedando México en el lugar 21 con un total de 20,644
11 hectáreas destinadas para la producción de semilla de haba seca (Figura 1a). Aunque en
12 las dos listas figuran repetidamente algunos países si se analizan sus rendimientos
13 unitarios encontramos una lista diferente siendo Argentina con un rendimiento promedio
14 de 8.87 ton/ha seguido de Uzbekistán, Colombia, Guyana, Irlanda, Bélgica, Sudan,
15 Inglaterra, Dinamarca, Chipre y México se posiciona en el lugar 37 con un rendimiento
16 de 1.4 ton/ha como se muestra en Cuadro 1. Es importante mencionar (Figura 1b) que
17 en este análisis no se toma en cuenta si el haba es minor, mayor, equina o paucijuga.



1
 2 Figura 1 Superficie (a), rendimiento (b) y producción (c) de los diez principales países y
 3 México productores de haba (FAOSTAT, 2019).

4
 5 **2.2.5 Importancia Nacional**

6 En México existe una población de 126 014 024 habitantes (INEGI, 2020), los cuales
 7 demandan alimentos y dentro de estas hay una preferencia variable por edades, estatus
 8 social y la región del país que habita. Gaona (2018) realizó un mapa del consumo de
 9 leguminosas en México donde menciona que el consumo más grande de leguminosas
 10 en niños de preescolar se da en la región centro del país con una frecuencia de 3 días a
 11 la semana, en esto no influyó el estatus social, para los niños de edad escolar el consumo
 12 más grande se da para la región sur del país no influyendo el estatus social, en los
 13 adolescentes la región centro en las áreas urbanas inclinándose al estatus social medio
 14 y bajo, para los adultos la región norte del país es la que consume en mayor parte las
 15 leguminosas incluyendo los 3 estatus sociales. La producción de haba en México ocupa
 16 el 4to lugar en producción con un total de 30 560 t, quedando el haba por debajo del frijol
 17 y del garbanzo, destinando un área total de 20644 hectáreas del territorio nacional al
 18 cultivo y cosecha de grano seco, con un rendimiento promedio de 1.4 toneladas por

1 hectárea (FAOSTAT, 2019). Dentro del territorio nacional para el año 2019 los principales
 2 estados productores de semilla seca de haba como vainas verdes fueron: Ciudad de
 3 México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Estado de México, Michoacán,
 4 Morelos, Oaxaca, Puebla, Sonora, Tlaxcala y Veracruz (Cuadro1) (SIAP, 2019).

5

6 Cuadro 1 participación de los estados de la república mexicana en la producción del
 7 cultivo de haba (SIAP 2010).

Posición	Estado	Total de producción (t)
1	Puebla	38,062.18
2	México	35,622.77
3	Veracruz	28,257.83
4	Tlaxcala	8,562.38
5	Michoacán	6,393.99
6	Hidalgo	1,290.91
7	Ciudad de México	650.75
8	Morelos	555.8
9	Durango	35.74
10	Oaxaca	25.52
11	Sonora	10.5
12	Guerrero	5.08
13	Guanajuato	4.26

8

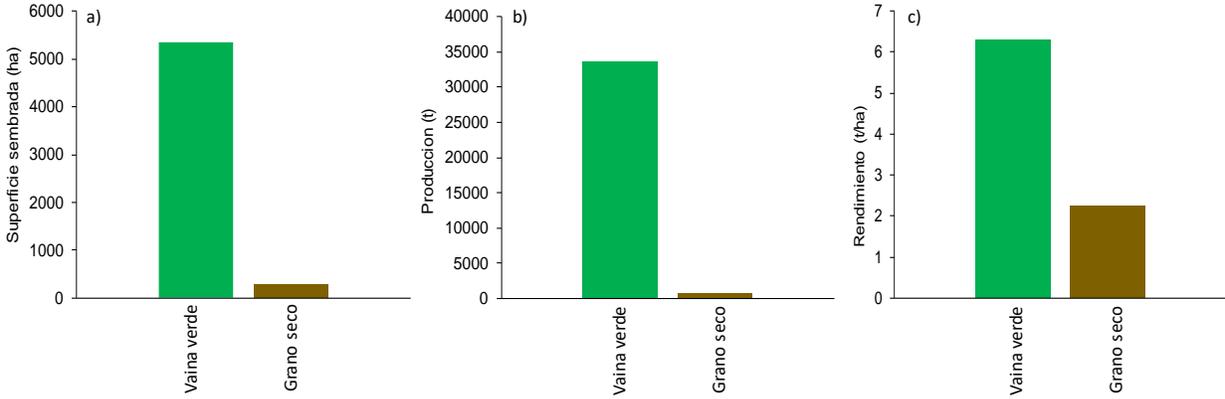
9

10

11 **2.2.6 Importancia Estatal**

12 El estado de México tiene una gran participación en la producción de haba tanto grano
 13 seco como en vaina verde, destinando una extensión de 5,796 hectáreas, siendo el
 14 segundo estado productor de haba a nivel nacional solo detrás de Puebla. De las 5,796
 15 hectáreas totales, 5,336 se destinan a la cosecha de vaina verde y solo 284 ha se destina
 16 para la producción de grano seco (Figura 2a), teniendo una producción de

1 3601 t ha⁻¹ para vaina verde y 640 t ha⁻¹ y un rendimiento promedio de 6.2 t ha⁻¹ de vaina
 2 verde, mientras que para grano seco se tiene un rendimiento promedio de 2.2 t ha⁻¹
 3 (Figura 2b), para vaina en verde y para grano en seco se tiene un rendimiento promedio
 4 de 6.7 y 2.1 t/ha. respectivamente (figura 2c). (SIAP, 2019). En la ciudad de Toluca,
 5 México se encuentra una de las centrales de abasto de importancia a nivel nacional en
 6 esta se lleva el record de los precios del haba tanto en verde como haba seca, ya que los
 7 datos muestran que el haba seca en 1998 tenía un costo de 9 pesos por kg, y en el año
 8 2020 su costo fue de 63 pesos por kg. Para el haba verde en los mismos años el precio
 9 fue de 5 y 17 pesos por kg respectivamente, resaltando la importancia económica que
 10 tiene el cultivo para el estado de México (SNIIM, 2020).



11
 12 Figura 2 Producción de vaina verde, grano seco en Estado de México, superficie
 13 sembrada a), producción b) y rendimiento c), (SIAP 2019).

14
 15 **2.3 Ecofisiología del rendimiento**

16 La producción de materia seca en diversos cultivos es proporcional a la intercepción de
 17 radiación solar (Fasheun 1982), la radiación es un factor importante para todos los seres
 18 vivos ya que esta es responsable de procesos biológicos entre estos las plantas

1 dependen para elaborar compuestos metabólicos a través de la fotosíntesis (Taiz y Zeirg,
2 2002). Dentro de los cultivos de interés agrícola existe una relación lineal positiva entre
3 la intercepción de radiación y la producción de materia seca (Howell 2001), la materia
4 seca es producida por la fijación de carbono, que a su vez depende de la radiación
5 interceptada (RI) mientras que la cantidad de biomasa producida por unidad de radiación
6 absorbida se le denomina eficiencia en el uso de la radiación (EUR). El órgano por
7 excelencia donde ocurre la fotosíntesis es la hoja, la intercepción de radiación solar está
8 determinada por el índice de área foliar (IAF) que a su vez está regulado por disposición
9 y el área de las hojas. Existen otros índices además de los ya enlistados descritos por
10 Watson (1952), Yoshida, (1972) y Hunt (1978), como son la tasa de crecimiento relativo
11 (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), índice de área foliar (IAF), tasa de crecimiento de
12 cultivo (TCC), duración de área foliar, que se describen a continuación

13
14 El método clásico para el análisis de crecimiento está basado en las fórmulas propuestas
15 por Gardner *et al.*, (2017); las cuales incluyen a los siguientes parámetros:

16 **2.3.1 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC)**

17 Se utiliza para medir la generación de biomasa por unidad de superficie que ocupa la
18 planta sin considerar el sistema radical. Con este parámetro es posible conocer el
19 incremento en materia seca producida por el cultivo a través de los muestreos dentro de
20 un intervalo de tiempo. Se calcula como:

$$21 \quad TCC = \frac{1}{A_s} \times \frac{(W_2 - W_1)}{(T_2 - T_1)}$$

22 A_s =área de suelo ocupada por las plantas en dónde se realizó el muestreo.

1 W1 y W2 = peso seco de la biomasa obtenido en el muestreo inicial y en el final del
2 periodo especificado.

3 T2-T1 = periodo de tiempo, registrado en días.

4

5 **2.3.2 Tasa de crecimiento relativo (TCR)**

6 Se conoce como el producto del incremento en peso por unidad de peso inicial y se
7 expresa como: (g por g de peso seco)⁻¹ día⁻¹

8
$$\text{TCR} = \frac{(\text{Ln}W2 - \text{Ln}W1)}{(T2 - T1)}$$

9 Ln= Logaritmo natural.

10

11 **2.3.3 Índice de área foliar (IAF)**

12 Es el resultado de dividir el área foliar de las hojas fotosintéticamente activas entre la
13 superficie de suelo que ocupan las plantas.

14 Se calcula cómo:

15
$$\text{IAF} = \frac{\frac{(\text{AF2} + \text{AF1})}{2}}{\bar{A}_s}$$

16 AF= área foliar en cada muestreo.

17

18 **2.3.4 Tasa de asimilación neta (TAN)**

19 Permite conocer la acumulación de peso seco por unidad de área foliar. Se expresa en g
20 (m² de área foliar)⁻¹ día⁻¹ y es una medida de la eficiencia promedio de las hojas para fijar

21 CO₂.

1 Se calcula como:

$$2 \quad \text{TAN} = \frac{\frac{(W2-W1)}{(T2-T1)}}{\frac{(\text{LnAF2}-\text{LnAF1})}{(\text{AF2}-\text{AF1})}}$$

3

4 **2.3.5 Duración del área foliar (DAF)**

5 Permite identificar los cambios que ocurren en el área foliar a través del tiempo y de este
6 modo tener una aproximación del tiempo que duran las hojas (fotosintéticamente activas)
7 y senescentes. Expresado en $\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$ o $\text{cm}^2 \text{ semana}^{-1}$.

$$8 \quad \text{DAF} = \frac{(\text{AF2} + \text{AF1}) \times (\text{T2} - \text{T1})}{2}$$

9 AF: Área foliar en cada muestreo

10 T: días entre cada muestreo

11

12 **2.4 Densidad de población**

13 De acuerdo con Matthews (2001), la densidad de plantas es un factor determinante del
14 rendimiento de los cultivos y es de particular importancia para las plantas que producen
15 semillas grandes. De esta forma una baja densidad se podría traducir en bajos
16 rendimientos, problemas de una infestación de malezas, baja eficiencia del uso de la
17 radiación, mientras que siembras a densidades demasiado altas puede generar poca
18 penetración de la radiación a los estratos inferiores del dosel, provocando baja eficiencia
19 de la actividad fotosintética traducido en caídas en el rendimiento (Lerele *et al.*, 2006). La
20 cantidad de plantas necesarias para lograr la mejor cobertura está en función del área
21 foliar que produce cada una de las variedades y del filocrono de estas (Blaco *et al.*, 2016).
22 La recomendación de cierta densidad de población depende de varios factores, entre los

1 más importantes están los siguientes: sanidad del suelo, humedad disponible, porcentaje
2 de germinación y características agronómicas de la variedad (Esqueda *et al.*, 2016). Vega
3 *et al.* (2001) mencionan que entre los factores bióticos y abióticos que afectan el
4 rendimiento el más importante debe ser la variación de densidad de plantas. En este
5 sentido, la determinación de la densidad de plantas está destinada a un uso más eficiente
6 del terreno, recursos disponibles y en especial la radiación incidente ya que este último
7 es factor indispensable para la producción de materia seca la cual tiene una relación muy
8 estrecha con el rendimiento de grano (Miah *et al.* 2003).

9

10 **2.5 Arreglo espacial**

11 Kruk y Satorre (2015) mencionan que de los componentes de la densidad de siembra el
12 distanciamiento entre plantas es el más importante ya que este está fundamentado en
13 los aspectos tecnológicos del manejo del cultivo. Dentro de una plantación es deseable
14 mantener una rectangularidad cercana a 1 (distancia entre hileras / distancia de plantas),
15 en este caso la rectangularidad del cultivo es uno de los aspectos más importantes de la
16 densidad, lo cual nos permite manipularla variando el espaciamiento entre hileras y entre
17 plantas para lograr la máxima producción por unidad de área de terreno. La limitante para
18 modificar estos atributos es la variedad ya que depende de su hábito de crecimiento y
19 condiciones agroclimáticas (Arya *et al.*, 2020). Se ha mencionado que el incremento en
20 el rendimiento es atribuido en gran parte al efecto sobre la capacidad del cultivo de
21 optimizar mejor los recursos antes del periodo crítico (Kruk y Satorre 2015). Bekry *et al.*
22 (2011) menciona que al modificar el arreglo espacial reduciendo la distancia entre surcos
23 aumento el número de plantas por unidad de superficie y observaron que hubo un
24 aumento en el rendimiento de grano en el cultivo de haba.

1

2 **2.6 Elección del genotipo**

3 Los bajos rendimientos en cultivo de haba se deben a una elección de cultivares nativos
4 susceptibles a estrés bióticos y abióticos, de ciclos vegetativos largos, susceptibles al
5 acame y por las características de tamaño y color de grano sólo tienen aceptación local
6 (Morales *et al.*, 2009). De este modo, los incrementos en el rendimiento deben considerar
7 que el productor seleccione adecuadamente la variedad apropiada, la cual debe tener un
8 alto potencial de rendimiento (Bascur, 1997). La selección y el uso de las variedades
9 mejoradas es recomendable ya que están diseñadas para soportar una mayor densidad
10 de población comparadas con las variedades criollas. Estas semillas pueden ser
11 enterradas a mayor profundidad para tener una mejor humedad y así poder germinar
12 (Faure *et al.*, 2013). Se ha comprobado que, al introducir variedades mejoradas el
13 rendimiento de grano puede incrementarse hasta 30%, debido a un mayor número de
14 nudos reproductivos, índice de cosecha y mayor área foliar (Pilbeam *et al.*, 1990). Por
15 otro lado, las variedades introducidas también superan en rendimiento de grano seco a
16 los cultivares locales, por un mayor número de granos por vaina (Escalante y Rodríguez,
17 2011).

18

19 **2.7 Importancia de la nutrición mineral**

20 Para incrementar la producción de granos es importante satisfacer la demanda de
21 nutrientes del cultivo, además de seleccionar un cultivar y una densidad adecuada, es
22 necesario tener un buen manejo del cultivo y considerar el uso correcto de fertilizantes
23 para evitar la pérdida por lixiviación, y volatilización a manera de reducir los costos
24 económicos y ambientales (Malagoli y Saccomani, 1993). Pichardo (2007) menciona que

1 el agregado de fertilizantes nitrogenados en específico urea de manera fraccionada
2 incrementa la producción de biomasa en el cultivo de haba y se logran mayores
3 rendimientos demostrando la importancia de este macronutriente. Otro de los
4 macronutrientes básicos e importantes es el fósforo, el cual según Montes (1997) se
5 puede fijar al suelo con tal importancia que si se aplica al voleo solo el 10% de esta
6 aplicación puede ser absorbida por las plantas, mientras que al colocarlo de manera
7 localizada se puede tener una absorción superior al 30%. Por otro lado, Muciño (1995)
8 menciona que aplicando 70 kg de súper fosfato de calcio triple por hectárea permite
9 obtener un rendimiento de 1.5 t/ha. Por su parte, Moreno y Cubero (1983) mencionan que
10 la aplicación combinada de fósforo y potasio es esencial para obtener rendimientos de
11 3.5 t/ha, resaltando la importancia del uso adecuado de fertilizantes.

12

13

III Planteamiento del problema

14

15 3.1 Justificación

16 En México el haba se cultiva principalmente en los valles altos en donde se siembran
17 alrededor de 20,644 ha con una producción de 30,560 toneladas y un rendimiento de
18 1400 kg ha⁻¹. Como se puede apreciar los rendimientos unitarios siguen siendo bajos, lo
19 cual puede deberse a innumerables factores entre los que desatacan la densidad de
20 siembra, la nutrición mineral, el control de malezas, la selección de cultivares, entre otros.
21 Dentro de la densidad de siembra, no existen trabajos de investigación realizados en
22 México que involucren como factores de estudio al espaciamiento entre surcos y entre
23 plantas. El estudio de estos aspectos es importante para entender los cambios en los
24 mecanismos asociados con la producción de biomasa y el rendimiento de grano. Con las

1 decisiones de manejo se tiende a optimizar la captura de recursos (CO₂, agua y
2 nutrientes), la suma de estos da como resultado altos rendimientos, los cuales deben ser
3 económicamente ventajosos y ambientalmente sustentables.

4 Para el cultivo de haba el aumento en la densidad de plantas provoca una serie de
5 modificaciones del cultivo alterando el rendimiento final. Por lo tanto, la densidad de
6 siembra óptima será la mínima cantidad de plantas por unidad de superficie para que el
7 cultivo tenga capacidad de compensación entre los componentes del rendimiento,
8 cuando este haya alcanzado su máximo bajo determinadas condiciones ambientales.

9 Es por ello, que en el presente trabajo de investigación se pretende estudiar el efecto de
10 diferentes arreglos espaciales sobre los atributos ecofisiológicos determinantes de la
11 producción de biomasa y rendimiento de grano en haba, con el propósito de mejorar los
12 sistemas de producción en este cultivo para la región.

13

14

15 **3.2 Hipótesis**

161. Los diferentes arreglos espaciales dados por el espaciamiento entre surcos y entre
17 plantas afectarán de manera diferencial los componentes fisiológicos y numéricos del
18 rendimiento de grano en haba.

192. Los tres cultivares de haba (V. faba mayor), presentan una respuesta diferencial en sus
20 componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento.

213. bajo condiciones de reducción de espacio entre hileras y entre plantas afecta de manera
22 diferencial los **3.3 Objetivos**

1 **3.3.1 Objetivo general**

2 Determinar los cambios que se producen en los componentes fisiológicos y numéricos
3 del rendimiento de grano por efecto de la distancia entre hileras y entre plantas en tres
4 cultivares y de haba en el valle de Toluca, México.

5 **3.3.2 Objetivos específicos**

6 ➤ Estimar el efecto de dos sistemas de siembra sobre los componentes fisiológicos
7 de la biomasa y del rendimiento.

8 ➤ Estimar el efecto de 3 densidades de siembra sobre los componentes fisiológicos
9 de la biomasa y numéricos del rendimiento de grano e índices de crecimiento en el cultivo
10 de haba.

11 ➤ Analizar el comportamiento de 3 cultivares sobre los componentes fisiológicos del
12 rendimiento de grano e índices de crecimiento en el cultivo de haba.

13

IV Materiales y métodos

4.1 Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el ciclo primavera-verano 2019 en la Facultad de Ciencias Agrícolas dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de México, 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 altura de 2611 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificada por García, (1988) el clima predominante es del tipo C (w2) (w) b (i) que corresponde a un clima 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 900mm El suelo de la región es un vertisol pélico de origen volcánico, presenta un horizonte mineral con un bajo contenido de materia orgánica que va del 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, la cantidad de materia orgánica es muy baja que va desde los 0.07 a 1.01 (Gil *et al.*, 2014).

4.2 Estructura de tratamientos y diseño experimental

Para efecto de la investigación se establecieron los tratamientos constituidos por la combinación factorial de 3 cultivares de haba (Amarilla, Diamante y Monarca) y tres densidades de siembra (5, 10 y 15 plantas por m²), los cuales se distribuyeron en dos sistemas de siembra (camas de 80 cm de separación; sistema tradicional y surcos

1 separados a 40 cm; sistema alternativo) bajo un diseño de bloques completos al azar con
2 cuatro repeticiones. (dos experimentos en serie, uno para cada sistema de siembra).

3

4 **4.3 Condiciones generales del experimento**

5 La siembra del experimento se realizó en forma manual en el mes de diciembre de 2019
6 en parcelas de 3 surcos de 3 m de largo y separados a 0.8 m (sistema tradicional: ST) y
7 3 surcos de 3 m de longitud separados a 0.40 m (sistema alternativo: SA). En la siembra
8 se depositaron dos semillas cada 25, 12.5 y 8 cm (ST) y cada 50, 25 y 16 cm (SA) para
9 las densidades de 5, 10 y 15 semillas por m², respectivamente. En la emergencia se
10 aclaró a una planta por mata. El experimento fue conducido sin limitaciones de agua y
11 nutrientes, la disponibilidad de humedad fue provista por medio de cintas de riego por
12 goteo de tal forma que de mantener la humedad durante el ciclo de cultivo cercana a la
13 capacidad de campo. La fertilización consistió en la fórmula 150-60-30 utilizando como
14 fuentes para nitrógeno a la Urea, como fósforo al superfosfato de calcio triple y como
15 potasio al cloruro de potasio. Al momento de la siembra se aplicó un tercio del nitrógeno
16 y todo el fosforo y potasio, el nitrógeno restante se aplicó durante la aparición de botones
17 florales e inmediatamente después del inicio de la floración. El control de malezas se
18 realizó de manera mecánica y manual durante todo el experimento. Durante el desarrollo
19 del experimento se monitorearón las principales variables climáticas utilizando para
20 ello una estación climática (Davis Instruments, In) que se encuentra instalada a 200 m
21 metros del terreno.

22

23

1 **4.4 Variables de estudio**

2 **4.4.1 Emergencia:** Se registraron los días transcurridos desde la siembra hasta que el
3 50% de las plántulas habían emergido de la superficie del suelo.

4 Aparición de la primera hoja trifoliada: Se contabilizaron los días desde la emergencia del
5 cultivo hasta cuando apareció expandida la primera hoja trifoliada en el tallo principal del
6 50% de las plantas de cada parcela.

7 **4.4.2 Botón floral visible:** Se constaron los días transcurridos desde la emergencia
8 hasta cuando fue visible el primer botón floral en el tallo principal y al menos en el 50%
9 de las plantas de cada unidad experimental.

10 **4.4.3 Inicio de la floración:** Se registró el número de días transcurridos desde la
11 emergencia hasta que la primera flor en el tallo principal de 10 plantas de cada parcela
12 presentó los pétalos expandidos.

13 **4.4.4 Inicio de la fructificación:** Para la determinación de esta etapa se contabilizaron
14 los días desde la emergencia hasta la aparición de las primeras vainas en el tallo
15 principal.

16 **4.4.5 Madurez fisiológica:** Esta se determinó cuando en el 50% de las vainas en el tallo
17 principal mostraban un color café oscuro y se registró en número de días transcurridos
18 desde la emergencia.

19

20 **4.5 Radiación fotosintéticamente activa interceptada**

21 Se registró la radiación incidente (I_0) y transmitida (I_t) al menos dos veces por semana
22 durante el desarrollo del cultivo, utilizando un Ceptómetro lineal de 1.0 m de longitud
23 (DECAGON,™). El registro de estos datos se realizó en días despejados cuando el sol

1 se encontraba en su zenit. Para registrar el porcentaje de radiación interceptada (μmol
2 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) por el dosel el ceptómetro se colocó entre los dos surcos centrales de cada
3 parcela midiéndose en tres lugares diferentes (izquierda, centro y derecha) de cada
4 parcela la radiación en forma diagonal al surcado y en un ángulo de 45° y siguiendo el
5 nivel de hojas senescentes, utilizando el valor promedio de dichas mediciones como el
6 valor de la radiación transmitida por el dosel del cultivo (Slafer et al., 1990).

7 La radiación incidente se midió en cada parcela colocando el sensor por arriba del dosel
8 posterior a las mediciones de I_t y la proporción de radiación fotosintéticamente activa
9 interceptada (%RFAI) por el cultivo se calculó como $I_0 - I_t/I_0$. El %RFAI se determinó
10 mediante una función sigmoidea, descrita por la siguiente ecuación:

$$11 \quad \%RFAI = \frac{a + b}{(1 - \exp(-(x - c)/d))}$$

12 Donde x es el número de días luego de la emergencia del cultivo (para el caso del %RFAI
13 pre-antesis) ó el número de días posterior a la antesis (para el caso del %RFAI en post-
14 antesis), y a , b , c y d son constantes del modelo.

15 **4.6 Producción de biomasa**

16 La producción de biomasa se midió en diferentes momentos durante el ciclo del cultivo,
17 45, 63, 116 y 130 días después de la siembra, cortando tres plantas de cada parcela, las
18 cuales fueron separadas en hojas, tallos y vainas (cuando estaban presentes). El peso
19 seco por cada estrato se determinó una vez que se secaron las muestras en una estufa
20 de aire forzado a 60°C durante 72 horas o hasta peso constante.

21 **4.7 Eficiencia de uso de la radiación (EUR)**

1 La eficiencia de uso de la radiación se determinó como la pendiente de la relación entre
2 la materia seca y la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo en
3 diferentes momentos durante el ciclo del cultivo y se expresó en $g MJ^{-1}$.

4 **4.8 Índice de área foliar**

5 En cada uno de los muestreos se determinó el área foliar a través de la obtención de 6
6 rondanas de hoja de área conocida las cuales se sometieron a secado junto con el resto
7 de las hojas hasta peso constante, el área foliar fue calculada por diferencia de pesos. El
8 IAF fue obtenido como el cociente entre el área foliar en la muestra entre la superficie de
9 terreno muestreada.

10 **4.9 Índice de cosecha**

11 El índice de cosecha se obtuvo como el cociente entre el rendimiento de semilla y la
12 producción biomasa en madurez fisiológica.

13 **Rendimiento de grano y sus componentes**

14 En madurez fisiológica se realizó el muestreo de cosecha abarcando 1 m lineal (2 surcos
15 de 50 cm como mínimo). Las plantas cosechadas se separaron en ramas y/o tallo
16 principal. Se contaron las vainas de cada estrato y se cosecharon por separado para
17 obtener el peso seco de granos (rendimiento) de las ramas principales. Se contó el
18 número de granos cosechados en cada una de las unidades experimentales y se expresó
19 como número de granos por unidad de superficie. Una vez contados los granos de cada
20 parcela se pesaron para así obtener el peso de 100 granos.

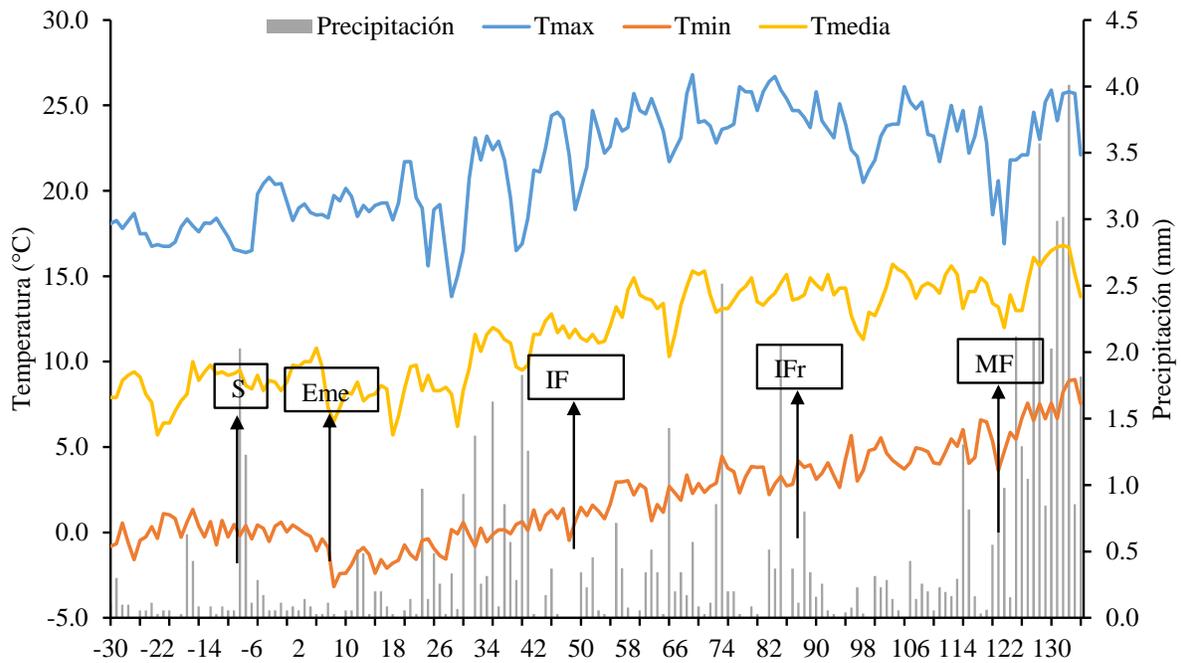
21

V Resultados

5.1. Resultados y discusión sobre los componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento de grano.

5.1.1. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas durante el desarrollo del experimento no limitaron el desarrollo y crecimiento del cultivo, las temperaturas, aunque estuvieron por debajo de los 0°C durante algunos días no fueron letales para las primeras etapas del desarrollo de haba (Orozco *et al*, 2013). La emergencia ocurrió a los 15 días desde la siembra, mientras que a los 50 días el 50% de las plantas se encontraban en la etapa de antesis. 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 el 50% de fructificación o amarre de vainas. A los 140 días ocurrió la etapa de madurez fisiológica con condiciones ambientales favorables.



1

2 Figura 3 Condiciones agroclimáticas ocurridas durante la conducción del trabajo
 3 experimental. (S: siembra, Eme: emergencia, BFV: botón floral visible, IF: inicio de la
 4 floración, IFr: inicio de fructificación, MF: madurez fisiológica) para la interacción entre
 5 dos distancias de siembra, tres densidades y tres cultivares impuestos en el ciclo invierno-
 6 primavera, en Toluca Estado de México.

7 5.1.2. Análisis de varianza

8 Los análisis de varianza para los componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento
 9 revelaron efectos significativos del sistema de siembra para todas las variables evaluadas
 10 con excepción de la producción de biomasa en madurez fisiológica, el peso de 100
 11 granos, el número de ramas productivas por planta y el número de vainas totales. La
 12 densidad de siembra afectó significativamente todos los caracteres evaluados con
 13 excepción del índice de cosecha, número de granos por vaina, altura de planta y número

1 de nudos productivos por planta. Por otro lado, los análisis de varianza también revelaron
2 diferencias significativas entre variedades para producción de biomasa en madurez
3 fisiológica, rendimiento de grano, índice de cosecha, número de granos por m² y peso de
4 100 granos, mientras que para el resto de las variables estudiadas no se observaron
5 efectos genotípicos. La interacción de sistema x densidad resultó significativa (P<0.05)
6 para el rendimiento de semilla, índice de cosecha, número de semillas por unidad de
7 superficie y número de semillas por vaina, mientras que la interacción sistema x variedad
8 fue significativa para rendimiento de semilla, índice de cosecha, número de semillas por
9 m² y número de granos por vaina. Por otro lado, la interacción densidad por variedad
10 resultó significativa (P<0.05) para biomasa a madurez, rendimiento de semilla, índice de
11 cosecha, número de semillas por m² y número de semillas por vaina. La interacción
12 sistema x densidad x variedad, fue significativa para biomasa en madurez, índice de
13 cosecha, número de semillas por unidad de superficie, peso de 100 semillas y número
14 de semillas por vaina resulto ser significativa. Los coeficientes de variación oscilaron
15 entre 5.54 y 26.70% que corresponden a altura de planta y número total de vainas.

1 Cuadro 2 . Valores de F y su significancia estadística para las variables biomasa a madurez fisiológica (Biom), rendimiento
 2 de semilla (Rend), índice de cosecha (IC), numero de semillas por m² (NG), peso de 100 semillas (P100S), numero de
 3 vainas por m² (NV), numero de semillas por vaina (NSPV), numero de ramas por planta (NRPP), numero de ramas
 4 productivas por planta (NRPPP), altura de planta (AP), numero de vainas total (NVtot) y numero de nudos productivos por
 5 planta (NNPPP), para tres cultivares de haba crecidos en dos sistemas de siembra y tres densidades de población, en
 6 Toluca estado de México.

Fuente de variación	de g.l	Biom	Rend	IC	NS	P100S	NV	NSPV	NRPP	NRPPP	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*	1.0ns	1.25ns	1.37ns	1.35ns	6.4**	1.5ns	10.29**
Densidad (Den)	2	172.6**	57.7**	1.7ns	98.1**	3.0**	45.1**	0.05ns	3.23*	4.81*	0.4ns	11.3**	0.07ns
Variedad (Var)	2	60.0**	10.3**	8.7**	7.1**	8.1**	0.2ns	1.99ns	1.08ns	1.81ns	2.2ns	0.1ns	0.10ns
Sis x Den	2	0.8ns	3.2*	21.3**	4.4*	1.0ns	0.1ns	4.49**	0.09ns	1.15ns	1.2ns	0.3ns	0.81ns
Sis x Var	2	3.0*	16.7**	25.4**	20.3**	1.0ns	1.4ns	4.56**	0.03ns	0.01ns	0.6ns	0.9ns	0.42ns
Den x Var	4	8.6**	4.0**	9.6**	6.3**	0.0ns	0.2ns	3.61**	1.74ns	2.20ns	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)		19467.2	4823.5	0.002	1095.9	860.9	1404.8	0.101	1.18	0.98	36.3	437.3	4.46
C.V. (%)		12.9	19.4	13.77	17.66	15.1	25.4	24.40	18.52	19.01	5.5	26.7	16.45

7 *significativo al 0.05; **significativo al 0.01; ns no significativo.

1 Con el sistema alternativo (distancia entre surcos 40 cm) se obtuvo el mayor
2 rendimiento de grano respecto al sistema tradicional (distancia entre surcos 80 cm),
3 así también los valores más altos de índice de cosecha, número de granos por
4 unidad de superficie, número de vainas por m², número de granos por vaina, altura
5 de planta y número de nudos productivos por planta, en el resto de las variables
6 ambos sistemas de siembra fueron estadísticamente iguales (Cuadro 2). Por otro
7 lado, el incremento en la densidad de siembra afectó positivamente la producción
8 de biomasa (48%), rendimiento de grano (53.6%), el número de granos por unidad
9 de superficie (47%), el número de vainas por unidad de superficie (47.7%) y el
10 número de ramas por planta un 5% respecto a la densidad más baja. Resultados
11 similares fueron encontrados por Khalil *et al.* (2011), quienes al evaluar 4
12 densidades de siembra encontraron incrementos en el rendimiento de grano y sus
13 principales componentes, conforme aumentó la densidad de siembra.
14 Recientemente, Tamrat *et al.* (2019) al evaluar densidades en el rango de 166,666
15 a 666,666 plantas ha⁻¹ en haba Var. Minor, observaron incrementos en el
16 rendimiento de grano y características asociadas con el crecimiento al aumentar la
17 densidad de plantas.

18 Incrementos en la densidad de población modifican la arquitectura de la planta, así
19 densidades altas reducen el número de ramas productivas por planta en haba
20 impactando el rendimiento de grano (Bakry *et al.*, 2011; Derogar y Mojaddam, 2014;
21 Almaz *et al.*, 2016). Nuestros resultados muestran que el número de ramas
22 productivas por planta disminuyó un 15% respecto a la densidad más alta (Tabla 2).
23 Los genotipos Amarilla y Monarca registraron los rendimientos de semilla más altos

1 (24% en promedio) respecto del cultivar Diamante, mostrando ambos genotipos
2 diferente estrategia para la generación del rendimiento, Amarilla lo logró a través de
3 un mayor peso de grano, mientras que Monarca lo hizo mediante un mayor número
4 de granos por m² (Cuadro 2). Lopez-Bellido *et al.* (2005), mencionan que los
5 genotipos que presentan tamaño de semilla grande producen mucha materia seca
6 y logran valores de índice de área foliar grandes, debido a que son más altos y
7 tienen hojas más grandes. Cabe mencionar que el peso de grano en el genotipo
8 Amarilla difirió del resto de los genotipos y también logró valores altos de biomasa
9 a madurez.

1 Cuadro 3 Valores promedio para las variables biomasa a madurez fisiológica (Biom), rendimiento de grano (Rend), índice
 2 de cosecha (IC), número de granos por m² (NG), peso de 100 granos (P100G), número de vainas por m² (NV), número de
 3 granos por vaina (NGPV), número de ramas por planta (NRPP), número de ramas productivas por planta (NRPPP), altura
 4 de planta (AP), número de vainas total (NVtot) y número de nudos productivos por planta (NNPPP), para tres cultivares de
 5 haba crecidos en dos sistemas de siembra y tres densidades de población, en Toluca estado de México.

Fuente de variación	Biom (g m ⁻²)	Rend (g m ⁻²)	IC	NG (x m ²)	P100G (g)	NV (x m ²)	NGP V	NRPP	NRPPP	AP (cm)	NVtot	NNPPP P
Sistema												
Alternativo	1100.8a	419.8a	0.40a	215a	200.1a	159.2a	1.4a	5.5a	5.2a	118.9a	85.0a	15.0a
Tradicional	1052.1a	294.6b	0.27b	159b	188.3a	135.0b	1.2b	6.2a	5.2a	98.6b	71.5a	10.5b
Densidad (plantas m⁻²)												
15	1461.0a	464.3a	0.32a	253a	185.0a	196.3a	1.3a	5.6b	4.9b	108.2a	65.4b	12.9a
10	1054.9b	358.4b	0.34a	188b	192.0a	151.2b	1.2a	5.6a	5.0ab	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	187.0b	150.2a	1.3a	5.8a	5.2a	109.4a	79.2a	12.9a
Diamante	898.18c	307.0b	0.33ab	168b	181.9b	142.4a	1.2a	4.6a	4.9a	106.7a	76.4a	12.6a

6 Medias unidas por la misma letra no difieren significativamente con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

7

Al analizar los componentes fisiológicos del rendimiento (producción de biomasa e índice de cosecha) se apreció que el rendimiento de grano se relacionó positivamente 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;).

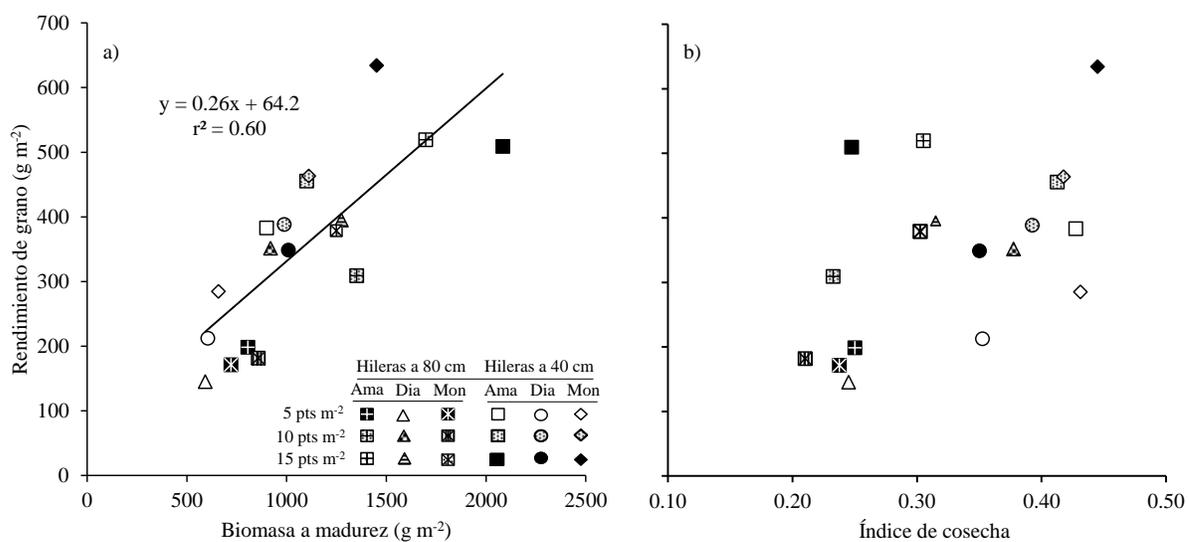


Figura 4 Relaciones entre el rendimiento de grano con la biomasa a madurez (a) y con el índice de cosecha (b) para tres genotipos de haba, cultivados en dos distanciamientos entre hileras y tres densidades de siembra, en Toluca, Estado de México.

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 ($r^2=0.90$, $P<0.001$) 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 por m^2 .

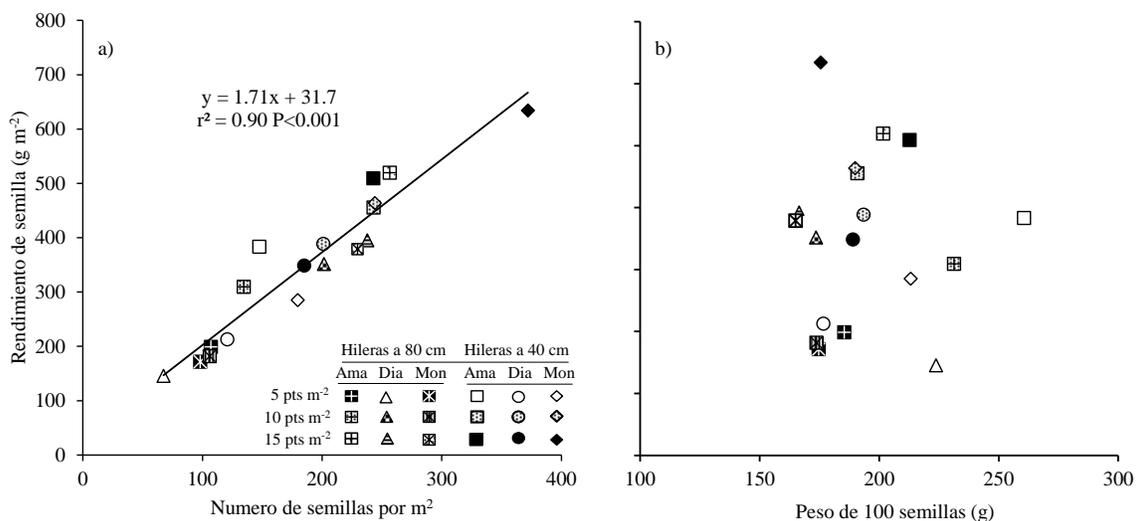


Figura 5 Relaciones entre el rendimiento de semilla con el número de semillas por m^2 (a) y con el peso de peso de 100 semillas (b) para tres genotipos de haba, cultivados en dos distanciamientos entre hileras y tres densidades de siembra, en Toluca, Estado de México.

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 por 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 por m^2 ($r^2=0.32$, $P<0.05$) (Figura 4). Resultados obtenidos 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 por m^2 .

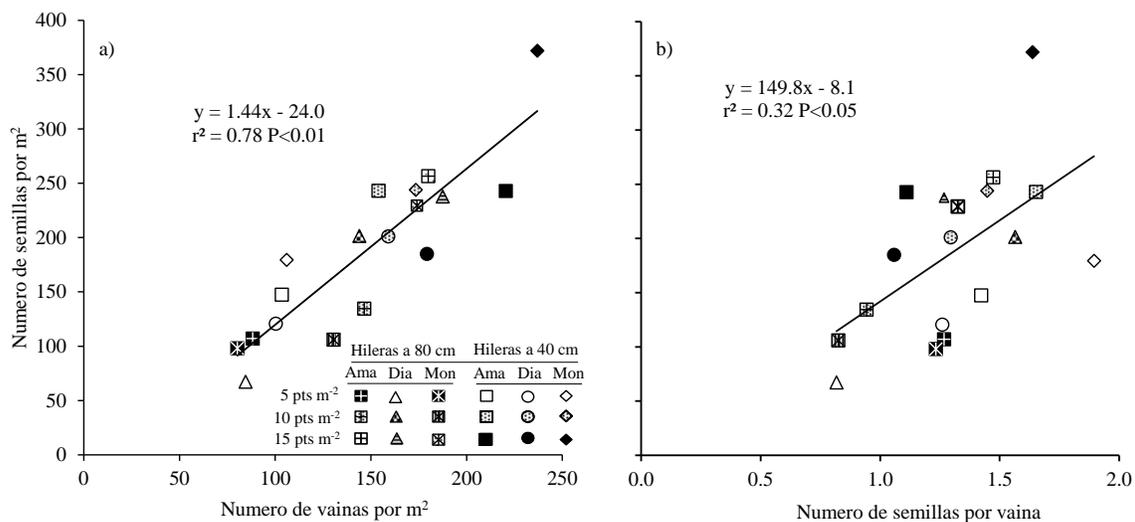


Figura 6 Relaciones entre el número de semillas por m^2 con el número de vainas por m^2 (a) y con el número de semillas por vaina (b) para tres genotipos de haba, cultivados en dos distanciamientos entre hileras y tres densidades de siembra, en Toluca, Estado de México.

La altura de planta en el sistema de siembra a 40 cm entre hileras fue significativamente mayor respecto al sistema de siembra tradicional (80 cm entre hileras), lo cual se vio reflejado en un mayor número de nudos productivos por planta (Figura 5). El mayor número de vainas por unidad de superficie observado en el sistema de siembra de 40 cm entre hileras puede ser explicado a la mayor altura de planta y al mayor número de nudos productivos por planta en este sistema. Cuando se reduce el espaciamiento entre surcos la altura de planta tiende a ser mayor (Turk y Tawaha, 2002; Gezahegn *et al.*, 2016; Tamrat *et al.*, 2019). Lo cual puede estar asociado a una menor calidad de luz lo que origina mayor elongación de los entrenudos (Khalil *et al.*, 2011).

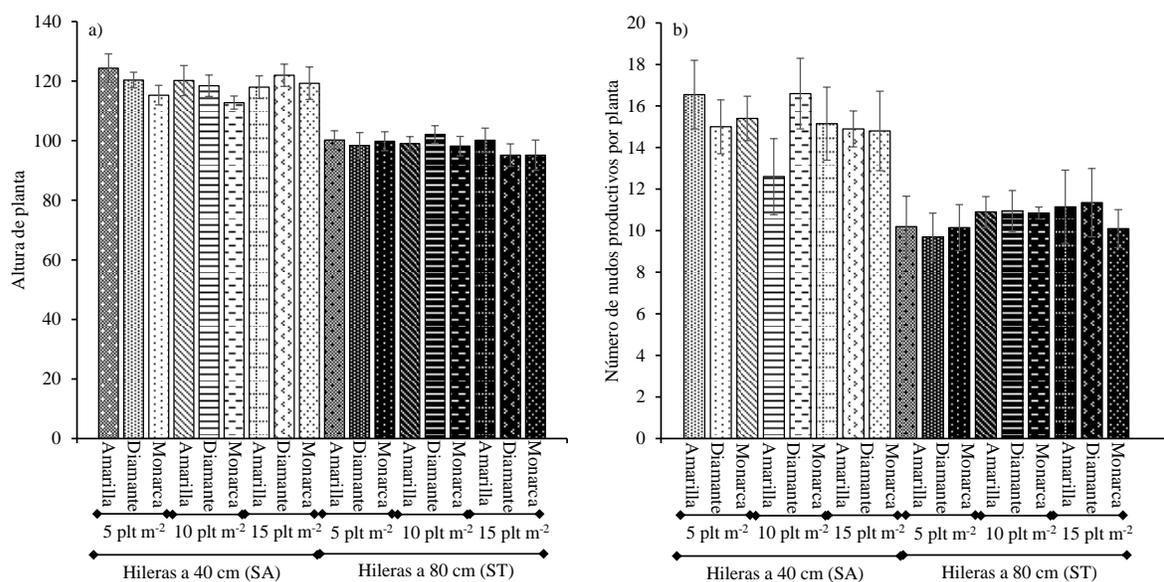


Figura 7 Altura de planta (a) y número de nudos productivos por planta (b) para tres cultivares de haba cultivados en tres densidades de población y dos espaciamientos entre hileras en Toluca Estado de México. Líneas verticales en cada barra indican el error estándar de la media.

5.2. Resultados y discusión para los atributos ecofisiológicos determinantes de la producción de biomasa.

Análisis de varianza

Los análisis de varianza para los componentes ecofisiológicos de la producción de biomasa se muestran en el Cuadro 4, en donde se aprecia que para el factor sistemas de siembra se observaron efectos significativos para radiación interceptada acumulada en el ciclo del cultivo (RIA_{ciclo}), índice de área foliar máximo en el ciclo (IAF_{max}), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento de cultivo (TCR) y duración del área foliar (DAF). Por otro lado, para el factor densidad se observaron diferencias significativas en todas las variables estudiadas con excepción de RIA_{ant} y RIA_{ciclo} , lo que indica que estas dos variables no fueron influenciadas por cambios en la densidad de siembra. De la misma manera, para el factor variedades se detectaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) para todas las variables estudiadas, con excepción de RIA_{ant} y RIA_{ciclo} , en las cuales los valores de F no fueron significativos. La interacción sistema x densidad únicamente resultó significativa en las variables IAF_{max} , TCC, TAN, TCR y DAF, lo cual indica que la expresión de dichas variables está en función de la densidad y el espaciamiento entre hileras. Una situación similar fue observada para la interacción sistema x variedad (Cuadro 4). Por otro lado, se observaron efectos significativos para la interacción densidad x variedad en todos los caracteres estudiados, con excepción de la RIA_{ant} en donde no se observó la presencia de interacción significativa. La interacción sistema x densidad x variedad, estuvo presente en forma altamente significativa ($P < 0.01$) en las variables IAF_{max} , MS_{mf} ,

EUR_{ant}, EUR_{ciclo}, TCC, TAN, TCR, DAF, mientras que para el resto de las variables no se apreció la existencia de este tipo interacción. Los coeficientes de variación oscilaron entre 9.0 y 19.9% para la TCR y EUR_{ant}, respectivamente (Cuadro 4).

La comparación de medias para los efectos principales (sistemas, densidades y genotipos) se presentan en el Cuadro 5, en el cual se puede observar que el espaciamiento entre hileras de 40 cm presentó los valores más altos para radiación interceptada acumulada en madurez fisiológica, tasa de crecimiento del cultivo, tasa de asimilación neta, tasa relativa de crecimiento y duración de área foliar. Mientras que en el resto de los caracteres ambos sistemas fueron estadísticamente iguales. Estos resultados coinciden con los encontrados por De la Casa (2006) quien al estimar la radiación en papa encontró una relación positiva en el aumento de densidad y la cantidad de radiación solar interceptada en todo el ciclo. Por otro lado, incrementos en la densidad de plantas por unidad de superficie se vio reflejado en incrementos significativos en todos los atributos ecofisiológicos estudiados, con excepción de la radiación interceptada acumulada en antesis y en madurez fisiológica, las cuales no fueron modificadas por efecto de la densidad. En este sentido, Coelho (1989) al evaluar dos densidades de siembra 20 y 40 plantas m⁻², encontró que con la densidad de 40 plantas m⁻² se incrementó la producción de la biomasa, mientras que Pilbeam et al. (1991b) mencionan que para la siembra de cultivares indeterminados se recomienda para el ciclo de otoño densidades de 10 a 20 plantas por m² y en el ciclo de primavera se recomienda densidades de 20 a 60 plantas por m² para alcanzar los mejores rendimientos. El genotipo Amarilla sobresalió por su mayor IAF en antesis y también por lograr el máximo IAF, también por presentar el mayor peso seco en antesis y en madurez fisiológica, cual

posiblemente asociado a valores más altos de eficiencia de uso de la radiación en antesis y en madurez fisiológica, así como también, al incremento en la tasa de crecimiento de cultivo, tasa de asimilación neta y duración del área foliar en el periodo crítico (Cuadro 5). Para López-Bedillo (2005) la influencia del tipo botánico y hábito de crecimiento, sobre el rendimiento son mayores que la densidad de plantas, ya que los rendimientos que se obtienen con tipos de crecimiento determinado son menores con respecto al obtenido por los cultivares con crecimiento indeterminado, al igual que el peso de semilla, los rendimientos que se obtienen con los cultivares mayor son menores a los cultivares equina y así mismo el cultivar minor son menores al cultivar quina.

Cuadro 4 Valores de F y su significancia estadística para área foliar en antesis (AF_{ant}), índice de área foliar máximo (IAF_{max}), materia seca en antesis (MS_{ant}), materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), radiación interceptada acumulada antesis (RIA_{ant}), radiación interceptada acumulada en madurez (RIA_{ciclo}), eficiencia del uso de la radiación a antesis postantesis (EUR_{ant}), eficiencia del uso de la radiación en madurez (EUR_{ciclo}), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo (TCR), duración del área foliar (DAF), para 3 genotipos de haba cultivados en dos sistemas de siembra y en 3 densidades en Toluca, México.

Fuente de variación	g.l	IAFant	IAFmax	MSant	MSmf	RIAant	RIA _{ciclo}	EURant	EUR _{ciclo}	TCC	TAN	TCR	DAF
Sistema (Sis)	1	1.36ns	33.22**	0.23ns	0.86ns	1.77ns	17.70**	0.32ns	0.35ns	272.3**	153.97**	70.22**	33.64**
Repetición (Sis)	6	1.24ns	2.85*	1.41ns	2.44*	1.93ns	2.33*	3.38**	4.19**	2.50*	3.24**	1.0ns	3.09*
Densidad (Dens)	2	131.03**	234.42**	198.33**	164.79**	0.99ns	1.35ns	68.62**	141.95**	321.78**	450.73**	7.76**	316.35**
Variedad (Var)	2	8.35**	39.79**	15.06**	57.34**	0.27ns	1.67ns	26.39**	28.20**	72.64**	178.26**	9.56**	51.49**
Sis*Dens	2	1.05ns	48.12**	0.02ns	0.77ns	2.64ns	2.29ns	0.69ns	0.19ns	62.65**	182.58**	3.24*	49.45**
Sis*Var	2	2.53ns	84.32**	0.66ns	2.91ns	1.09ns	1.37ns	0.82ns	1.31ns	127.07**	211.51**	34.42**	78.84**
Dens*Var	4	4.63**	70.14**	11.80**	8.26**	0.55ns	2.69*	3.08*	3.46**	50.29**	126.51**	6.59**	78.05**
Sis*Den*Var	4	0.72ns	79.30**	1.23ns	7.59**	0.94ns	2.29ns	7.37**	6.47**	54.83**	146.54**	9.75**	78.86**
Error (CM)		0.181	0.348	1373.6	20395.03	1219.8	35980.64	0.080	0.005	3.61	50.71	0.000	84.53
C.V. (%)		19.53	13.86	15.56	13.26	18.02	12.01	19.90	13.51	10.24	17.85	9.01	12.07

*significativo al 0.05; ** significativo al 0.01; ns no significativo.

Cuadro 5 Valores medios para área foliar en antesis (AF_{ant}), índice de área foliar máximo (IAF_{max}), materia seca en antesis (MS_{ant}), materia seca a madurez fisiológica (MS_{mf}), radiación interceptada acumulada antesis (RIA_{ant}), radiación interceptada acumulada en madurez (RIA_{ciclo}), eficiencia del uso de la radiación a antesis postantesis (EUR_{ant}), eficiencia del uso de la radiación en madurez (EUR_{ciclo}), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo (TCR), duración del área foliar (DAF), para 3 genotipos de haba cultivados en dos sistemas de siembra y en 3 densidades, en Toluca México.

	IAF_{ant}	IAF_{max}	MS_{ant} (g m ⁻²)	MS_{mf} (g m ⁻²)	RIA_{ant} (MJ m ⁻²)	RIA_{ciclo} (MJ m ⁻²)	EUR_{ant} (g MJ ⁻¹)	EUR_{ciclo} (g MJ ⁻¹)	TCC (g m ⁻² dia ⁻¹)	TAN (g (m ² AF) ⁻¹ d ⁻¹)	TCR (g g ⁻¹ d ⁻¹)	DAF (m ² d ⁻¹)
SA	2.2a	4.9a	240a	1100a	632a	1722a	1.39a	0.54a	24.4a	58.6a	0.10a	87.1a
ST	2.1a	3.5a	235a	1025a	584a	1434b	1.46a	0.56a	12.7b	21.1b	0.09b	65.0b
15	3.1a	6.1a	344a	1461a	625a	1586a	1.94a	0.73a	24.5a	72.7a	0.077b	110.7a
10	2.1b	4.0b	237b	1054b	615a	1318a	1.34b	0.55b	20.2b	35.4b	0.082a	73.4b
5	1.1c	2.5c	131c	713c	583a	1530a	0.99c	0.36c	10.9c	11.4c	0.086a	44.1c
Amarilla	2.4a	5.0a	268a	1323a	617a	1632a	1.74a	0.64a	21.8a	61.5a	0.080b	91.0a
Diamante	2.1ab	4.1b	234b	898c	611a	1569a	1.38b	0.54b	15.2c	24.1c	0.079b	64.9c
Monarca	1.9b	3.5c	210b	1007b	595a	1533a	1.15c	0.48c	18.5b	33.9b	0.087a	72.3b

Medias unidas por la misma letra no difieren significativamente entre sí con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.

La relación entre biomasa a madurez fisiológica y eficiencia en el uso de la radiación mostró que la producción de biomasa cuando se consideró la interacción densidad x cultivar fue explicada principalmente por los cambios generados en la eficiencia de uso de la radiación ($r^2=0.92$, $P<0.01$) (Figura 5a), estos resultados coinciden con los obtenidos por Almaz et al. (2016) quienes al reducir el espaciamiento entre plantas (30, 40 y 50 cm) y entre hileras (8, 10 y 12 cm) encontraron que la mayor producción de biomasa está relacionada con incrementos en el IAF ya que proporcionó una superficie más alta para la intercepción de radiación solar que resultó en una fotosíntesis neta más alta y llevó a una producción mayor de biomasa por unidad de área. Por otra parte, Carcova et al. (2015) mencionan que la eficiencia en el uso de la radiación máxima para soya tanto en Estados Unidos de América y Australia se encuentra $0.86 \text{ (g MJ}^{-1}\text{)}$, lo cual coincide con los valores máximos observados en este estudio. En la relación de la biomasa con la radiación interceptada acumulada en madurez fisiológica no se observó una tendencia significativa (Figura 5b). En esta figura se puede apreciar que incrementos en la densidad de plantas en los tres genotipos estuvieron asociados con incrementos en la eficiencia de uso de la radiación y por consiguiente incrementos en la producción de biomasa.

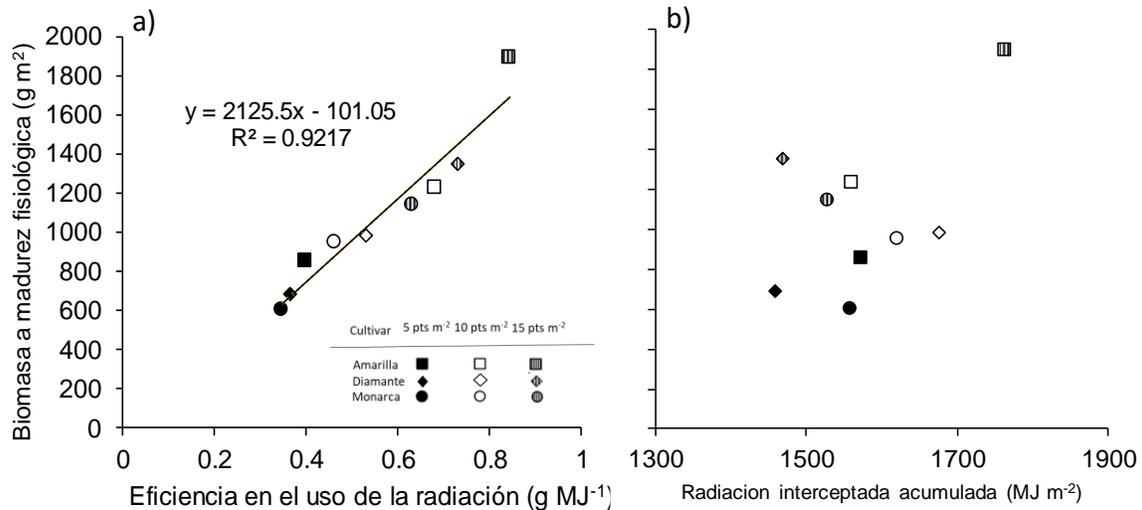


Figura 8 Relaciones entre biomasa a madurez fisiológica y la radiación interceptada acumulada (a) y eficiencia de uso de la radiación (b) para tres genotipos de haba cultivados en dos espaciamientos entre hileras (40 y 80 cm) y tres densidades de población en el ciclo invierno-primavera 2019-2020, en Toluca Estado de México.

La relación entre la eficiencia de intercepción y el índice de área foliar para ambos espaciamientos entre hileras (SA: 40 cm y ST: 80 cm) mostró que el espaciamiento de 40 cm entre hileras logró porcentajes de intercepción más altos respecto del espaciamiento a 80 cm, lo cual pone de manifiesto que la reducción de la distancia entre hileras mejora significativamente la capacidad de intercepción del cultivo lo cual está en línea con los cambios positivos en la producción de biomasa y eficiencia de uso de la radiación comentado anteriormente (Figura 6a), Así mismo, se observó una mejora en la capacidad de intercepción de radiación solar conforme se incrementó el IAF en el sistema de siembra a 40 cm entre hileras, con respecto del sistema tradicional. Con densidades de 15 plantas por m² se alcanzó la mayor intercepción con mayores IAF (Figura 6b). Los tres genotipos estudiados alcanzaron

niveles de intercepción de radiación cercanos al 90% en el sistema de siembra a 40 cm entre hileras, mientras que en hileras separadas a 80 cm los niveles de intercepción para los tres genotipos rondaron el 60% (Figura 6c), siendo estos resultados muy similares a los reportados por López-Bedillo (2005), en cual menciona que la eficiencia con la que se utiliza la energía para la producción de materia seca están influenciadas por las características del dosel, y que a su vez puede ser modificado por la densidad de plantas ya que estas favorecen a un mayor cierre del dosel y una maximización del al intercepción de la radiación, así también por el uso de cultivares. Por otro lado, Minguez et al. (1993) y Escalante (1999) obtuvieron una mayor radiación interceptada a causa de una mayor área foliar por efecto de cambios en la densidad de siembra o cantidad de nutrientes.

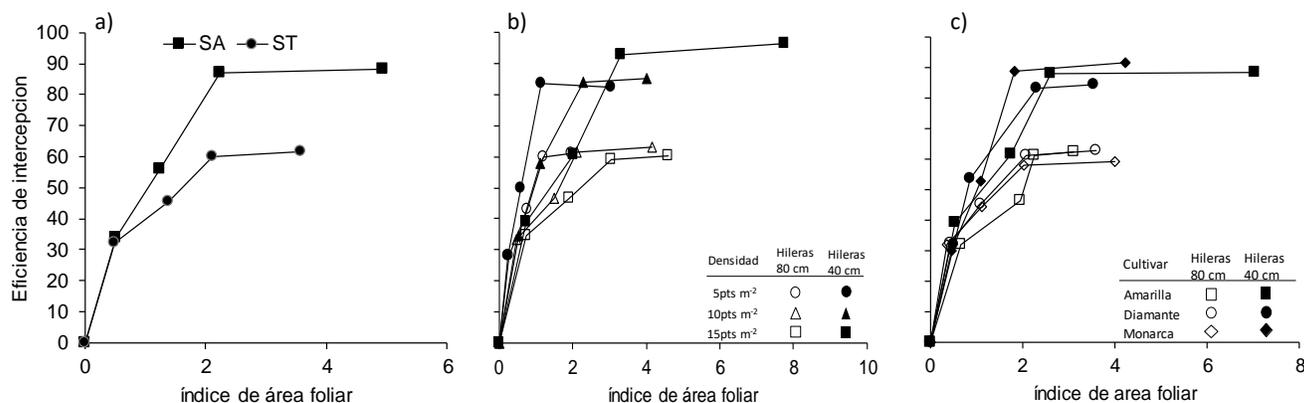


Figura 9 Relaciones entre eficiencia de intercepción e índice de área foliar para distanciamiento entre hileras (SA: 40 cm, ST: 80 cm) (a), densidades de población (b) y cultivares (c) para 3 genotipos de haba cultivados en dos espaciamentos entre hileras y tres densidades de población en Toluca Estado de México.

La evolución del índice de área foliar en función de los días después de la emergencia (DDE) del cultivo se aprecia en la Figura 7, en la cual se observa que

en ambos espaciamentos entre hileras se lograron IAF estadísticamente similares hasta los 116 días después de la emergencia y únicamente se diferenciaron a los 130 DDE, sobresaliendo el espaciamento entre hileras de 40 cm (SA). Por otra parte, se puede apreciar que el IAF se incrementó significativamente al incrementar la densidad de población y dicha diferencia entre densidades fue más clara a partir de los 63 DDE, en donde la densidad de 15 plantas por m² logró los IAF más altos (Figura 7b), lo anterior coincide con lo encontrado por Poulain et al. (1986) y Al-Suhaibani (2015) quienes mencionan que el índice de área foliar depende de la temperatura ambiental, la disponibilidad de agua y nutrientes, siendo el más importante la densidad de plantas ya que a densidades altas se logran IAF altos. La evolución del IAF a través del tiempo para los tres genotipos fue muy similar, sin embargo, el genotipo Amarilla a los 63 DDE obtuvo un IAF significativamente mayor respecto de Diamante y Monarca (Figura 7c), mientras que a los 130 DDE los tres genotipos se diferenciaron significativamente sobresaliendo el genotipo Amarilla con el mayor IAF, en este sentido Thompson (1983), menciona que el IAF, se ve afectado por la cantidad de agua disponible, pero existe otro factor que también toma relevancia que es la elección del genotipo ya que existen genotipos que tienen un IAF alto pero rendimientos bajos y otros genotipos presentan IAF bajos pero con altos rendimientos..

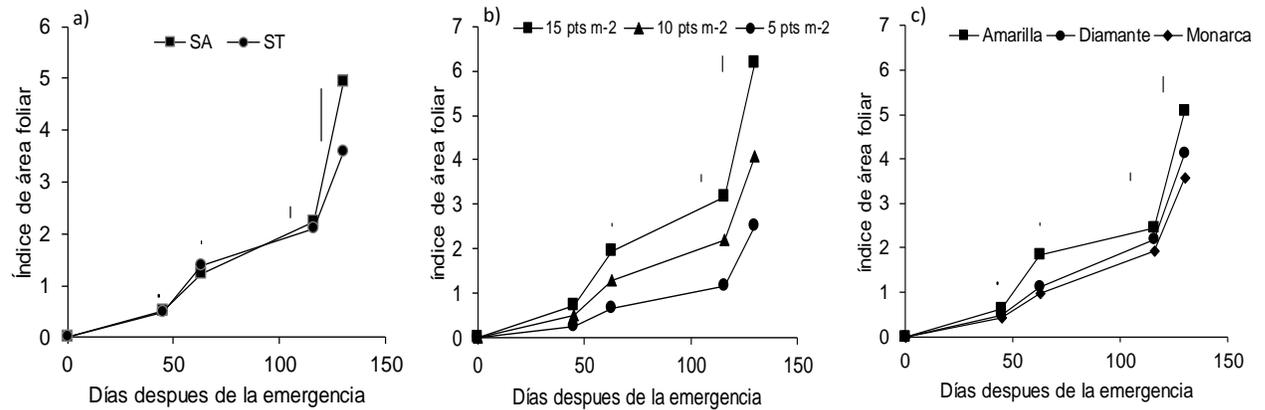


Figura 10 Relaciones entre índice de área foliar y los días después de la emergencia del cultivo para los distanciamientos entre hileras (SA: 40 cm, ST: 80 cm) (a), densidades de siembra (b) y cultivares (c) evaluados en Toluca Estado de México.

En la Figura 7, se muestran los diferentes índices de crecimiento determinados en el periodo crítico en función de la densidad de plantas, en esta Figura se puede observar que la tasa de crecimiento de cultivo para el genotipo Amarilla se incrementó conforme aumentó la densidad de población logrando valores por encima de $50 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ durante el periodo crítico en la densidad de 15 plantas por m^2 , mientras que Monarca alcanzó tasas de crecimiento cercanas a $30 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en densidades de 10 y 15 plantas por m^2 (Figura 8a), coincidiendo con lo reportado por Vagliasindi (1995) quien reporta un aumento en la TCR cuando se aumenta la densidad de siembra, El sistema de siembra de hileras a 80 cm no mostró incrementos muy significativos en la TCC, incluso el genotipo Amarilla en este sistema presento una tendencia negativa en la TCC al incrementar la densidad de población. Con respecto a la tasa de crecimiento relativo (TCR) únicamente los genotipos Monarca y Diamante con hileras a 80 cm mostraron efectos positivos en

la TCR al incrementarse la densidad de siembra, mientras que estos mismos genotipos en hileras a 40 cm redujeron su TCR al pasar de 5 a 10 plantas por m^2 , y se mantuvieron sin cambio con respecto a la densidad de 15 plantas por m^2 (Figura 8b), contrariamente a lo reportado por Polignand and Uggenti (1989) quienes mencionan que hay diferentes valores para la tasa de crecimiento relativo para los diferentes tipos botánicos de haba (mayor, minor y equina). Sin embargo, nuestros resultados son comparables con los reportados por Sing et al. (1992) y Al-Suhaibani et al. (2015) quienes mencionan que al usar cultivares pertenecientes tipo minor se observó una reducción en la TCR al aumentar la densidad de plantas de 6 a 12 plantas por gotero con distancias de 30 cm entre goteros. La tasa de asimilación neta (TAN) se incrementó a medida que la densidad de plantas fue mayor, aunque este efecto solo se observó en los genotipos Amarilla y Monarca en hileras a 40cm, siendo Amarilla en donde el incremento en TAN fue más significativo, mientras que el resto de los genotipos se mantuvo sin cambios entre densidades (Figura 8c. En este sentido, Con respecto a la duración del área foliar durante el periodo crítico solo el genotipo Amarilla en hileras a 40cm mostró una mayor DAF conforme se incrementó la densidad de plantas, mientras que el resto de los genotipos se mantuvo sin cambios entre densidades y sistemas (Figura 8d) coincidiendo en lo mostrado por Almeida et al. (1995) quien al estudiar el efecto de 20 a 60 plantas por m^2 con espaciamiento entre hileras de 50 cm, encontraron que la duración de área foliar es mayor al aumentar la densidades durante la etapa vegetativa, resultando en mayor biomasa.

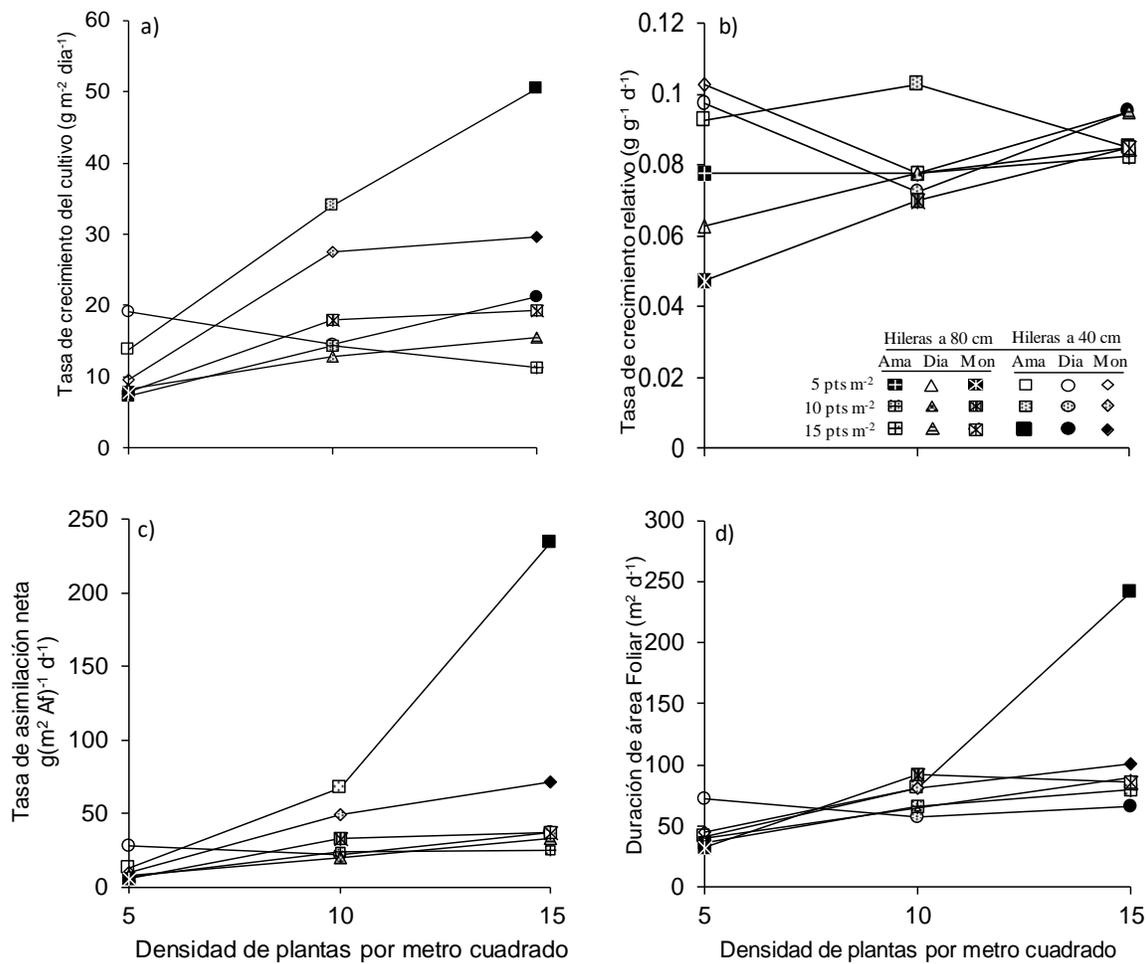


Figura 11 Relaciones entre los índices de crecimiento y densidad de plantas por metro cuadrado para tasa de crecimiento de cultivo (TCC) (a), tasa de crecimiento relativo (TCR) (b), tasa de asimilación neta (TAN) (c) y duración del área foliar (DAF), durante el periodo crítico para tres cultivares de haba cultivados en dos espaciamientos entre hileras y tres densidades de población en Toluca, México.

VII Discusión general

Durante todo el ciclo ontogénico las temperaturas y la disponibilidad de agua no fueron limitantes para el cultivo, esto permitió una emergencia que cubrió la cantidad de plantas necesarias para mantener las densidades previstas para este experimento. Dantuma y Thompson (1983), explica que la germinación de la semilla de haba está relacionada principalmente por las temperaturas y no se ve afectada por la densidad de siembra, mientras que se ha observado que la mayor mortalidad de plántula o no emergencia se debe a una mala calidad de semilla o a condiciones climáticas adversas (Amato et al., 1990)

Incrementos en la densidad de plantas se vieron reflejados en mayor producción de biomasa, lo cual es coincidente con lo descrito por Coelho y Pinto (1989), quienes mencionan que el haba muestra una plasticidad como respuesta a la alta densidad de población, ya que encontraron una relación inversa entre la cantidad de plantas y la disminución de ramas. Por otro lado, Dantuma and Thompson (1983) mencionan que la producción de biomasa y la cantidad de plantas tienen una correlación lineal y que después de cierto punto en la densidad de plantas la competencia es tan grande que la correlación deja de ser lineal para volverse asintótica.

Los resultados obtenidos en el experimento muestran que los efectos sobre los componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento se modificaron inicialmente con la altura de planta la cual se aumenta al reducir la distancia entre hileras, lo cual coincide con los valores encontrados en la tasa de crecimiento de cultivo y con el índice de área foliar, siendo nuestros resultados similares a los de Serhat et al.

(2007), quienes mencionan que el efecto de la temperatura no influye en la acumulación de biomasa en el tallo, pero la intensidad de luz si influye en la altura de planta y a menor intensidad de radiación solar ($350 \text{ Mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aumenta la altura del tallo, en este sentido, los autores mencionan que el mayor grosor en tallo se obtiene con alta radiación solar y bajas temperaturas. De acuerdo lo anterior, y a pesar de que no se tomó en cuenta el grosor del tallo se podría deducir que, de acuerdo a la materia seca en madurez fisiológica, la diferencia de 2 gramos entre la densidad alta y baja puede deberse a que en las altas densidades se acumula una mayor proporción de materia seca total en los tallos (Pilbeam et al., 1991). Otro de los efectos sobresalientes de este experimento fue la cantidad de nudos productivos por planta que se vieron favorecidos con incrementos en la densidad lo cual estuvo relacionado con los cambios observados en la altura de la planta, lo cual es coincidente con lo encontrado por Poulani et al. (1986) y Serhat et al. (2007), quienes mencionan que los efectos sobre el desarrollo del dosel y la reducción de ramas en plantas en la fase de desarrollo trae como consecuencia modificación positiva en el número de nudos florales en antesis, demostrando que la influencia de la radiación alta y altas temperaturas disminuyen la floración efecto que se observa donde la densidad es baja y la distancia entre hileras es mayor. Por otro lado, la reducción de la distancia entre hileras incrementa el índice de área foliar, lo que indica que al modificar el dosel existe una reducción de la cantidad de radiación que pasa a estratos más bajos aumentando la cantidad de nudos con flores además de todos los fotosimilados provistos por la RIA. El número de vainas por planta en el distanciamiento entre hileras de 40cm fue mayor, respecto al distanciamiento de 80 cm. Según Amato et al. (1992) no existe una relación clara con el porcentaje de

abscisión de vainas y la densidad de siembra, pero ellos mencionan que existe una tendencia clara entre el medio ambiente y factores relacionados con el cultivo y en específico la densidad de siembra con la caída de flores y vainas. Así mismo, Serhat et al. (2007) demostraron que no existe algún efecto negativo entre la radiación solar sobre el desarrollo de las vainas, pero encuentran un efecto negativo de la temperatura, esto podría explicar el número de vainas por unidad de superficie obtenidas en este experimento. Por otro lado, Loss et al. (1998) mencionan que en general el mayor peso de vainas se obtiene siempre que las densidades de siembra sean bajas, en nuestro experimento no se midió el peso de la vaina, por lo tanto, se podría intuir que el peso de grano es el que tiene una mayor influencia en esta variable y que se encontró que el mayor peso de grano se obtiene con densidades de 5 plantas por m², coincidiendo con lo anteriormente descrito.

En el presente experimento se encontró que el número de semillas está directamente relacionado con el genotipo, ya que a pesar de que este componente se modificó al reducir el espacio entre hileras y entre plantas estos cambios se podrían deber al incremento en el número de plantas por unidad de superficie, esto también fue reportado por Bond et al. (1985), quienes señalan que el número de semillas está determinado por el cultivar y por el origen botánico (mayor, minor, equina). Sin embargo, Dantuma y Thompson (1983), mencionan que no existe evidencia de que el número de semillas sea visiblemente afectado por competencia en radiación solar, balance hídrico o densidad de siembra.

El rendimiento de haba fue mayor para la distancia entre hileras de 40 cm y para la densidad de 15 plantas por m², así también para el cultivar Amarilla, comprobando

que la disminución entre hileras y entre plantas trae un aumento en el rendimiento. Resultados similares fueron encontrados por Marcellos y Constable (1986) y Pilbeam (1990), los cuales coinciden en mencionar que el aumento en el rendimiento final de la semilla de haba está muy relacionado con la incrementos en la densidad de plantas presentando una respuesta asintótica y a veces parabólica en donde se observa cuando se rebasa cierto límite disminuye el rendimiento, alcanzando su máximo nivel en la meseta como respuesta a la suma de factores tales como: genotipo, medio ambiente y factores en el manejo del cultivo entre estos la densidad de plantas.

En relación al índice de cosecha encontramos que en el sistema alternativo (distancia 40cm) obtuvo la mayor respuesta, pero no existió efecto de las densidades, en donde a densidad de 5 plantas por unidad de superficie obtiene el mayor IC, mientras que el cv. Monarca obtuvo un IC 36% más alto respecto a los otros dos cultivares. Resultados similares fueron obtenidos por Pichardo et al. (2007) quienes mostraron que a concentraciones de 66 kg de nitrógeno se genera un IC de 37% para el cultivar Cochinera. Lopez-Bedillo (2003) menciona que existe una correlación entre la producción de materia seca y el rendimiento de semillas y que el obtener una mayor cantidad de materia seca asegura una mayor cantidad de semillas, ya que la materia seca solo indica la eficiencia del cultivar en su crecimiento vegetativo, mientras que la semilla depende de la eficiencia en el uso de la radiación y en una translocación efectiva de foto asimilados a las semillas, ya que algunas prácticas tales como: densidad de siembra alta, elección del cultivar, riego, fertilización, elección de fecha de siembra pueden modificar el IC.

Los valores de índice de área foliar (IAF) obtenidos muestran que hubo una mejora en esta variable tanto al reducir el espacio entre hileras como al aumentar la densidad de población, dado que esta es un reflejo del tamaño de dosel es decir la frondosidad de la planta por unidad de área en este caso m^{-2} . Lopez-Bedillo (2005) y Almaz (2016), encontraron incrementos en el IAF del 20% entre la densidad baja y la densidad alta y ambos trabajos concluyen que los cambios se deben principalmente con la densidad de plantas.

La radiación interceptada acumulada es mayor para el sistema alternativo (distancia a 40cm), lo cual nos demuestra que al generar un IAF grande, también la biomasa tiende a incrementarse dado que existe una mayor intercepción de la radiación. Por otro lado, la eficiencia en el uso de la radiación fue mayor para el sistema tradicional (distancia 80cm) estos resultados nos muestran que al tener cambios en la estructura del dosel existe un cambio en la duración de la fase vegetativa a reproductiva (Amato et al., 1992; Pichardo et al., 2007).

Al analizar los atributos determinantes de la producción de biomasa se encontró que la tasa de crecimiento del cultivo se benefició al reducir el espacio entre hileras, además que fue distinto para los cultivares, mostrando que hay una relación estrecha entre esta variable y la intercepción de la radiación. En este sentido, solo se observó un incremento de 47,9% entre ambos distanciamientos entre hileras (40 y 80 cm), siendo similar a lo descrito por Gardner et al. (1985). La tasa de asimilación neta fue mayor para la distancia de 40cm y muestra un incremento conforme al incremento de la densidad, contrastando con Al-Suhaibani et al. (2013), los cuales encuentran una relación negativa en el aumento de la densidad y los valores

obtenidos para TAN, mientras que Odaba et al. (2007) mostraron que la TAN se incrementó al aumentar la densidad lo cual se atribuyó a una disminución rápida en las últimas etapas ya que esta variable al estar estrechamente relacionada con la TCC tiene un efecto en el acortamiento del periodo vegetativo el cultivo. Por otro lado, los resultados de la tasa de crecimiento relativo muestran que los valores más altos se obtuvieron a densidades bajas y una distancia de 40cm, mientras que entre los cultivares no existió diferencia entre Amarilla y Diamante, pero si Monarca con las demás. Tuttobene and Vagliasindi (1995) encontraron incrementos significativos en la TCR al aumentar la densidad de siembra, mientras que Coelho and Pinto (1989), no encontraron relación alguna.

La duración de área foliar mostró un incremento significativo del 25% entre el espaciamiento de 40 y el de 80 cm entre hileras, lo cual indica que este sistema de siembra podría representar una alternativa para la producción de haba en la región de valles altos. Evidencias en la literatura mencionan que a mayor densidad de plantas existe una mayor cantidad de biomasa en la etapa vegetativa, beneficiando en las etapas posteriores (Almeida et al., 1995) y que existe una correlación significativa entre la duración del área foliar y el rendimiento de semilla (Pilbeam et al., 1991).

VIII Conclusiones

La reducción en la distancia entre hileras a 40 cm mostró un aumento en el rendimiento, al obtener un número mayor de granos por unidad de superficie, basado en una cantidad mayor de vainas, debido a un incremento en el número de nudos productivos y a su vez basado en un incremento en la altura de planta.

La combinación de una distancia entre hileras de 40cm con una densidad de 10 plantas m⁻² y el cultivar Monarca mostró ser la mejor combinación para ser utilizada el máximo potencial de rendimiento.,

Con el distanciamiento entre hileras de 40 cm se presentó mayor tasa de crecimiento de cultivo reflejada en una mayor producción de biomasa, lo cual estuvo asociado con incrementos en el IAF y mayor eficiencia en el uso de la

Los incrementos en la densidad de población mostraron efectos positivos en el rendimiento de semilla y sus principales componentes en ambos espaciamientos entre hileras.

Los genotipos mostraron un comportamiento diferencial al sistema de siembra y a la densidad de población. Monarca presentó rendimiento de grano más alto y un peso promedio aceptable con una TAN más alta y una DAF más larga, teniendo menos variaciones en todas las densidades y sistemas de siembra

El efecto del arreglo espacial no afectó la tasa aparición de hojas sin embargo existió una mayor eficiencia de interceptación con la distancia entre hileras a 40 cm.

Se considera que este experimento arrojó información importante sobre la influencia que tienen las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en cultivares

de haba sobresalientes para valles altos, que pueden tomarse en cuenta para lograr sistemas de producción más eficientes con este cultivo.

III Bibliografía

- Aguirre S. C. A., Valdez L. J. R., Perez A. G., Posadas H. M. Y Aguirre, S. A. I.(2011) Mapeo del índice de área foliar Y cobertura arbórea mediante fotografía Hemisferica y datos SPOT5 HR: Regresion y K-NN. *Agrociencia*, 45: 105-119.
- Almaz M.; Gezahegn, Tesfaye K; Sharma J.J. and Belel 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, 1224485, DOI: 10.1080/23311932.2016.1224485
- Almeida, F.A.C.; López-Bellido, 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 July, Copenhagen, Denmark, p. 167.
- Al-Suhaibani, N; El-Hendawy, S. and Schmidhalter, U. (2013). Influence of varied plant density on growth, yield and economic return of drip irrigated Faba bean (*Vicia faba* L.). *Turkish Journal of Field Crops*, 18, 185–197.
- Amato, G.; Cibella, R.; Giambalvo, D, and Gristina, L., 1992. Observations of the reproductive development in faba bean (*Vicia faba* L. var. equina) in relation to plant density. In: AEP (Ed.), *Proceedings of the First European Conference on Grain Legumes*. 1–3 June, Angers, France, pp. 245–246.
- Arya A. Shikta M. A. Sing V.K.. (2020). Growth and yield attributing characters of chickpea varieties as influenced by altering plant rectangularity by varying

plant spacing. International Journal of Chemical Studies, 8 (4), 3803-3806 pp.
<https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i4av.10241>

Bakry, B.A; Elewa, TA; El-karamany, MF; Zeidan, MS; Tawfik, MM. 2011. Effect of row spacing on yield and its components of some Faba beans (*Vicia faba* L.) varieties under Newly Reclaimed Sandy Soil Condition. World Journal of Agricultural Sciences 7(1):68-72.

Bascur B. G. 1997. Adaptación de la variedad de haba (*Vicia faba* L.) Portuguesa-INIA para producción de grano seco y uso agroindustrial en la zona centro norte de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 57(1): 70–76.

Blaco, M.; Corrales, C.; Chevez, O. & Campos, A. (2016). The growth and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as an intercalated crop with coffee(*Coffea arabica* L.). Mesoamerican Agronomy 6, 134-139. ISSN: 1021-7444.

Bond, D. A., Lawes, D. A., Hawtin, G. C., Saxena, M. C. y Stephens, J. S. (1985). Faba bean (*Vicia faba* L.). En: R. J. Summerfield y E. H. Roberts (eds.), *Grain Legume Crops* (pp. 199-265). London, UK: William Collins Sons London, UK.

Caracuta, V., Barzilai, O., Khalaily, H. et al. The onset of faba bean farming in the Southern Levant. Sci Rep 5, 14370 (2015).
<https://doi.org/10.1038/srep14370>.

Cárcova, J. and Borrás, L. and Otegui, M. 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 pp.

- Carreño, b. and Ditchburn, L. 1998. Abonos verdes para el oriente Boliviano. Principios y bases para su selección. Centro de Investigación agrícola Tropical. Santa cruz - Bolivia. 167 p.
- Coelho, J.C. and Pinto, P.A., 1989. Plant density effects on growth and development of winter faba bean (*Vicia faba* var. *minor*). *Fabis Newslett.* 25, 26–30.
- Cruz-Izquierdo S, P Ramírez-Vallejo, A M Torres, C M Ávila (2006) *Vicia faba*: Production and importance in Mexico. In: International Workshop on Faba Bean Breeding and Agronomy. 21-27 October, Córdoba Spain. Junta de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera. 78-80.
- Cubero, J.I. (1974). On the evolution of *Vicia faba* L. *Theor. Appl. Genet.*, 45: 47-51.
- Dantuma, G. and Thompson, R., 1983. Whole-crop physiology and yield components. In: Hebblethwaite, P.D. (Ed.), *The Faba Bean (Vicia faba L.)*. Butterworths Publisher, London, pp. 143–158.
- de la Casa, A.; Ovando, G; Bressanini, L.; Rodríguez, A. and Martínez, J. (2007). Use of Leaf Area Index and Ground Cover to Estimate Intercepted Radiation in Potato. *Agricultura Técnica*, 67(1), 78-85.
- Derogar N.; Mojaddam M. and Saki Nejad T. (February, 2014). The effect of plant population on growth parameters and seed yield of faba bean . *International Journal of Biosciences*, vol. 4, No. 3, pp. 149-157
- Díaz L, Ernesto, Loeza-Corte, Juan M., Campos-Pastelín, Jesús M., Morales-Rosales, Edgar J., Domínguez-López, Aurelio, & Franco-Mora, Omar. (2013). Eficiencia en el uso de la radiación, tasa de asimilación neta e integral térmica en función del fósforo en maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia*, 47(2), 135-146pp.

- Díaz R., R.; Escalante E., A. 2009. Faba beans (*Vicia faba* L.) in Mexico. Grain Legumes 51:32-33.
- Duc, G. 1997. Faba bean (*Vicia faba* L.). Field Crops Research (53):99-109
- Duc, G.; Brun, N.; Merghem, R. and Jay, M., 1995. Genetic variation in tanning related characteristics in faba bean seeds (*Vicia faba* L.) and their relationship with seed coat colour. Plant Breed., 114: 272-274.
- 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 Research, vol. 68, pp 1-8.
- Escalante E.J. A.; M. T. Rodríguez and E. Escalante. 1999. Efecto del nitrógeno en la producción y abscisión de órganos reproductivos en frijol. Agronomía Mesoamericana 10: 47-53
- Escalante, E.J.A.; and Rodríguez, G.M.T. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. Ciencias Agrícolas Informa. México. 20(1):16-25.
- Escalante, EJA; Rodríguez, GMT. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. Ciencias Agrícolas Informa 20:16-25.
- Esqueda, V.; Durán, A. & López, E. (2016). Effect of the time and type of weeding on residual moisture growing beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Mesoamerican Agronomy, 8(1), 59-64. ISSN: 1021-7444.

- Esqueda, V.; Durán, A. and López, E. (2016). Effect of the time and type of weeding on residual moisture growing beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Mesoamerican Agronomy*, 8(1), 59-64. ISSN: 1021-7444.
- FAO (2016). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Beneficios nutricionales de las legumbres. [#IYP2016](http://fao.org/pulse).
- FAOSTAT. 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Base de datos estadísticos. Disponible en forma electrónica: <http://www.fao.org>.
- Fasheun A. and Dennett M.D. (1982). Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia Faba* L.), *Agricultural Meteorology*. *Agricultural Meteorology*, 26, 221-229pp.
- Fasheun A. Dennett M.D.. (1982). Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia Faba* L.), *Agricultural Meteorology*. *Agricultural Meteorology*, 26, 221-229pp.
- Faure, B.; Benítez, R.; León, N.; Chaveco, O. & Rodríguez, O. (2013). Guía técnica para el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Editora Agroecológica, Artemisa, Cuba, 35 p. ISBN 978-959-7210-67-2.}
- Gaona-P. E.B., Martínez T. B, Arango A. A, Valenzuela B. D, Gómez A. LM, Shamah L. T, Rodríguez R. S. Consumo de grupos de alimentos y factores sociodemográficos en población mexicana. *Salud Publica Mex* 2018;60: 272-282pp. <https://doi.org/10.21149/8803>
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a ed. Larrios. México, D. F.

- Gardner F.P.; Pearce R.B. and Mitchell R.L. (2017). *Physiology of Crop Plants*. (321pp). India: scientific publishers.
- Gardner, F.P.; Brent Pearce, R and Mitchel, R.L. (1985) Carbon fixation by crop canopies. In: *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press. Pp. 31-57.
- Gil G., H.; Martínez R., C. G. and Estrada C. G. (2014). Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 Núm.6: 951-964.
- Giménez, C., D. J. Connor, and F. Rueda. 1994. Canopy development, photosynthesis and radiation use efficiency in sunflower in response to nitrógeno. *Field Crops Res.* 15: 17-37.
- Guadarrama Q., A.; Escalante E. J. A.; Rodríguez G.; Sánchez G. P. and Sandoval C. E. (2007). Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 25(2),169-175.
- Guadarrama Quiroz, Antioco.; Escalante Estrada, J. Alberto, & Rodríguez González, María Teresa, & Sánchez García, Prometeo, & Sandoval Castro, Engelberto (2007). Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 25(2),169-175.
- Gutiérrez, N. C. M.; Ávila, M.; Moreno, T. and Torres, A. M. 2008. Development of SCAR markers linked to *zt-2*, one of the genes controlling absence of tannins in faba bean. *Australian J. Agric. Res.* 59:365-373.

- Herranz, F., Lovera, J., Cauzillo, P., Varas, F., Cruciani, M. (2017). Incidencia de la defoliación sobre el rendimiento y sus componentes en el cultivo de Trigo (*Triticum aestivum*). *AGROMENSAJES*, 47, 8-13 pp.
- Howell, S.G. (2001). "Sustainable grape productivity and the Growth-Yield relationship: a review". *American Journal of Enology and Viticulture*. 52. 165-174.
- Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2020). *Censo General de Población y Vivienda*. México: INEG
- Kantolic G. A.; Giménez I.P. and de la fuente E. B. 2015. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. Ed. Facultad de Agronomía UBA Buenos Aires. 75 pp.
- Khalil, S. K.; Wahab, A.; Rehman, A.; Fida, M.; Wahab, S.; Khan, A. Z.; Zubair, M.; Shah, M.K.; Khalil, I. H., and Amin, R., 2011. Density and planting date influence phenological development assimilate partitioning and dry matter production of faba bean. *Pakistan Journal of Botany*, 42(6): 3831-3838.
- Kruk, B.; Satorre E.H.L.; and Otegui, M. 2015. Densidad y arreglo espacial del cultivo. *Producción de granos. Base para su manejo*. Ed. Facultad de Agronomía UBA Buenos Aires. 279 p.
- Lake L. and Sadras O.V. (2014). The critical period for yield determination in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, vol. 168, pp. 1-7.
- Lake L. and Sadras O.V. (2016). Greening chickpea for adaptation to water stress: Associations between yield and crop growth rate. *European Journal of Agronomy*, vol. 81, pp. 86-91.

- Lemerle, D., B. Verbeek and S. Diffey. 2006. Influence of field pea (*Pisum sativum*) density on grain yield and competitiveness with annual rye grass (*Lolium rigidum*) in South-Eastern Australia. *Australian J. Exp. Agri.*, 46: 1465-1472pp.
- Lesjak J and Calderini DF (2017) Increased Night Temperature Negatively Affects Grain Yield, Biomass and Grain Number in Chilean Quinoa. *Front. Plant Sci.* 8:352. doi: 10.3389/fpls.2017.00352.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W. & Wolfinger, R.D. (1996). SAS® System for mixed models. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp. 633.
- López, R. M. 2011. Cocinando habas en la Región Centro de México. ICAMEX (Instituto de investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México). Conjunto SEDAGRO, Metepec, México. pp. 3-5.
- López-Bellido, F. J; López-Bellido, L. and López-Bellido, R. J. (2005). Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 23, 359–378. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2005.02.002>.
- Loss, S.P., Siddique, K.H.M., Martin, L.D., Crombie, A., 1998b. Responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to sowing rate in Southwestern Australia. Part II: canopy development, radiation absorption and dry matter partitioning. *Aust. J. Agric. Res.* 49, 999–1008.
- Malagoli M. and M. Saccomani (1993) Assessment of a selection pressure for improved nitrate and sulfate recovery by Maize, *Journal of Plant Nutrition*, 16:4, 713-722, DOI:10.1080/01904169309364568.

- 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, 493– 496.
- Matthews W.; Carpenter D.J.; Smith A. and Fettell N.A. (2001). Faba bean seeding rates for central and southern NSW. The regional institute online publishing , vol 6.
- Mera, M. 2015. Rotación con leguminosas de grano, efecto sobre la productividad de los cultivos y la calidad de los suelos (CD_ROM). En Simposio Internacional de leguminosas. 22 a 24 de septiembre 2016. Cochabamba - Bolivia. p. 18.
- Miah D; Ahmed R. and Belal M. U. (2003). Biomass fuel use by the rural households in Chittagong region, Bangladesh. Biomass and Bioenergy, 24, 277-283pp.
- Minguez, M.I.; Ruiz-Nogueira, B. and Sau, F., 1993. Faba vean productivity and optimum canopy development under a Mediterranean climate. Field Crops Res., 33: 435-447.
- Montes, M. J. (1997). Componentes de rendimiento y parámetros fisiológicos en 4 variedades de haba *Vicia faba* L. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México
- Morales, R. E. J., E. J. A. Escalante, y S. J. A. López. 2009. Biomasa y rendimiento de frijol con potencial ejotero en unicultivo y asociado con girasol. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15(1): 33-39.
- Moreno, M.T., A. Martínez & J.I. Cubero, 1983. Bean production in Spain. In: The Ford Foundation, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT),

- International Center for Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA) (Eds).
Potential for Field Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in West Asia and North
Africa. 70–85 pp.
- Muciño, S. (1995). Guía para cultivar haba en el estado de México. ICAMEX,
Meteppec, México.
- Nelson D. Cox M. (2009) Lehninger. Principios de bioquímica, 5ª ed. Barcelona.
Omega. pp. 852-857.
- Odabas M. S.; Uzun S. and Gulumser A. 2007. The Quantitative Effects of
Temperature and Light on Growth, Development and Yield of Faba Bean
(*Vicia faba* L.): I. Growth. *International Journal of Agricultural Research*, 2:
765-775.
- Olivera C. J. C. . (2017). Production of beans biomass (*Vicia faba* L.) as green
fertilizer, under three sowing densities, in Cota Cota Experimental Center..
Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica, 3 (1), 39-49 pp.
- Orozco C. N.; Pérez L. D. de J.; González H. A. Franco M. O.; Gutiérrez R. F.; Rubí
A. M.; Castañeda Vildózola Á.; and Balbuena M. A. (2013). Identificación de
poblaciones sobresalientes de haba colectadas en el Estado de México.
Revista mexicana de ciencias agrícolas, 4(6), pp 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. 624p.
- Petersson A.; Thompson M. H.; Hauggard N. H.; THOMSON, D. A. B. 2007.
Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from

- winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass and bioenergy* 31: 812–819.
doi: 10.1016/j.biombioe.2007.06.001
- Pichardo, R. J. C.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M.; Sánchez, G. P. 2007. Eficiencia agronómica del nitrógeno, en el uso del agua y de la radiación en el rendimiento del haba (*Vicia faba* L.) con aplicación dividida de nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 25(2): 145–154.
- Pilbeam C.J.; Duc G. and Hebblethwaite P. D. (1990). Effects of plant population density on spring-sown field beans (*Vicia faba*) with different growth habits. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 114, 19-33pp.
- Pilbeam, C.J.; Hebblethwaite, P.D.; Nyongesa, T.E. and Ricketts, H.E., 1991b. Effects of plant population density on determinate and indeterminate forms of winter field beans (*Vicia faba*). Part 2: growth and development. *J. Agric. Sci.* 116, 385-393.
- Pilbeam, C.J.; Hebblethwaite, P.D.; Ricketts, H.E. and Nyongesa, T.E., 1991a. Effects of plant population density on determinate and indeterminate forms of winter field beans (*Vicia faba*). Part 1: yield and yield components. *J. Agric. Sci.* 116, 375–383.
- Polignand, G.B. and Ugenti, P., 1989. Variation analysis of physiological traits among different entries of faba bean (*Vicia faba* L.). *Fabis Newslett.* 25, 22–25.
- Poulain, D., Keller, S. and Le Guen, J., 1986. Canopy development and efficiency of foliar light interception in winter faba bean. *Fabis Newslett.* 16, 13–19.
- Salisbury, F. B., y C. W. Ross. 1994. *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamérica. pp: 180-204.

Savin., R. and Sorlino, D., 2015. Calidad de los granos y estimadores más comunes, in: Producción de Granos. Bases Funcionales Para Su Manejo.

Serhat, O.M.; Uzun S. and Gülümser A. 2007. The Quantitative Effects of temperature and light on growth, development and yield of faba vean (Vicia faba L.). International Journal of Agricultural Research. 2(8) 667-676.

SIAP. 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. Agosto 3, 2021, de SIAP
Sitio web: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp

Singh, S.P.; Singh, N.P. and Pandey, R.K., 1992. Effect of variety and plant density on pattern of dry-matter accumulation in faba bean. Fabis Newslett. 31, 21–24.

Slafer G. A.; Andrade F. H. and Satorre E. H. (1990). Genetic-improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain-yield. Field Crops Research, Vol. 23, pp. 255-263.

SMIIN. (2021). Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. julio 2021. Sitio web: http://www.economia-sniim.gob.mx/SNIIM-AN/estadisticas/e_anuariosgran1.asp?cent=150&prod=OHAHABA&ACCION=Aceptar

Taiz, L., and E. Zeiger. 2002. Plant Physiology. Sinauer. U.S.A. pp: 145–150.

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. *Journal of Natural Sciences Research* , Vol.9, 47-55.

Tazart, K., Lamacchia, C., Zaidi, F. y Haros, M. (2016). Nutrient composition and in vitro digestibility of fresh pasta enriched with *Vicia faba*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 47, 8-15.

Turk M. A. and Tawaha A-R. M.(22 October 2001). Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence of moisture stress. *BIOTECHNOLOGIE AGRONOMIE SOCIETE*,vol. 3, pp. 171–178.

Tuttobene, R.; and Vagliasindi, C. 1995. Effects of plant density on flowering characteristics, growth and yield in ‘Sikelia’ a new faba bean genotype (*Vicia faba* L.) recently released. In *Proceeding of the Second European Conference on Grain Legumes*. Copenhagen, Denmark, pp. 172.

Vega M., R., J. A. Escalante E., P. Sánchez G., C. Ramírez A. y E. Cuenca A. 2001. Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra* 19: 75-81.

Woldeselassie, M. T., & 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 Journal of Medical and Biological Research*, 5(2): 117-122.
<https://doi.org/10.18034/mjmbbr.v5i2.460>.

Yoshida S (1972). Physiological aspects of grain yield. *ann./Rev; Plant Physiol.* 23:437-464.

Zhang D.; Zhang Z.; Li J.; Chang Y.; Du Q.; Pan T. 2015. Regulation of vapor pressure deficit by greenhouse micro-fog systems improved growth and productivity of tomato via enhancing photosynthesis during summer season. *Plos One*, 10(7).

Zohary, D. and Hopf, M. 1973. Domestication of pulses in the Old World. *Science* 182: 887–894.