



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MEXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**

**DETERMINACIÓN DEL PERIODO CRÍTICO EN EL CULTIVO DE HABA**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA**

**PRESENTA**

**ROGELIO ARAUJO DIAZ**

**(No. DE CUENTA: 1322399, 41ª GENERACIÓN)**

**ASESORES**

**DR. GASPAR ESTRADA CAMPUZANO**

**DR. CARLOS GUSTAVO MARTINEZ RUEDA**



**UNIVERSITARIO "EL CERRILLO", EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, MUNICIPIO DE TOLUCA, MEXICO.  
FEBREO 2019**

**La presente tesis forma parte del proyecto de investigación  
“DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO EN HABA Y CANOLA AFECTADO  
POR REDUCCIONES EN RADIACIÓN INTERCEPTADA EN DIFERENTES  
ETAPAS FENOLÓGICAS.” Con clave de registro 4731/2019CIB**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que colaboraron de distintas formas para la realización del presente trabajo.

Expresó mi reconocimiento y sincero agradecimiento a mis directores de tesis:

Al Dr. Gaspar Estrada Campuzano, por su confianza y las palabras de aliento hacia mí, por su paciencia, por su dedicación incondicional, por su gran compromiso para la atención de la presente investigación y amistad incondicional.

Al Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda. Por compartir su conocimiento, palabras de aliento y dedicación para el término de la presente investigación.

Mis agradecimientos a todos los maestros que al impartir su clase me brindaron su amistad y sus consejos invaluable.

Agradecimiento a mi familia, mis padres y hermanos por su ayuda, en especial a mi tío Esteban por su participación en este proyecto.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Agrícolas por su amistad y en especial a los trabajadores de campo que se convirtieron en confidentes y amigos al Sr. Ernesto, Ismael, Adolfo, Guadalupe, Raúl, Luis, Miguel, Juan y Gustavo.

Agradecimiento al Dr. Lemuel García, por sus consejos y enseñanzas

Un agradecimiento especial a la vida por darme la oportunidad de alcanzar esta meta.

## DEDICATORIA

A mi abuelo Cándido por todos sus consejos y enseñanzas.

A mis hermanos Roberto, Gemma y Paulina.

A mis padres Rogelio y Georgina por todo su apoyo.

A mi mentor Gaspar por todo el apoyo.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
ÍNDICE DE CUADROS .....	VII
RESUMEN .....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Importancia del cultivo de haba.....	4
2.1.1 Importancia mundial .....	4
2.1.2 Importancia nacional .....	7
2.1.3 Importancia para el Estado de México .....	7
2.2 Origen del haba.....	8
2.3 Morfología de la planta.....	9
2.4 Fenología del cultivo .....	11
2.5 Importancia de periodos críticos.....	15
2.6 Componente del rendimiento .....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.1 Ubicación del experimento .....	18
3.2 Tratamiento y diseño experimental .....	18
3.3 Condiciones generales del experimento .....	19
3.4 Variables a evaluar.....	20
3.4.1 Fenología .....	20
3.4.2 Número de hojas .....	20

3.4.3 Radiación interceptada.....	21
3.4.4 Producción de biomasa, rendimiento y sus componentes.....	22
3.4.5 Análisis estadístico.....	22
IV. RESULTADOS.....	23
4.1 Condiciones climáticas.....	23
4.2 Análisis de varianza.....	24
V. DISCUSIÓN.....	42
VI. CONCLUSIONES.....	48
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de los primeros 10 países y México (FAOSTAT, 2014) .....	5
Figura 2. Rendimiento de grano seco a nivel mundial para el cultivo de haba (FAOSTAT, 2014) .....	6
Figura 3. Componentes primarios del rendimiento en cultivo de haba adaptado de (Rowlands, 1955) .....	17
Figura 4. Condiciones climáticas prevalecientes desde enero hasta junio de 2018 en la Facultad de Ciencias Agrícolas. S=siembra, E= emergencia de plantas, IF= inicio de la floración, IFR= inicio de la fructificación, MF= madurez fisiológica. Fuente: Estación climática de la Facultad, 2018 .....	23
Figura 5. Relaciones entre el rendimiento de grano con la biomasa a madurez (a) y el índice de cosecha (b) para dos cultivares de haba crecidos en diferentes tratamientos de sombreo impuestos antes del inicio de la floración, en Toluca México .....	29
Figura 6. Relaciones entre el rendimiento de grano con la biomasa a madurez (a) y el índice de cosecha (b) para dos cultivares de haba crecidos en diferentes tratamientos de sombreo impuestos después del inicio de la floración, en Toluca México .....	30
Figura 7. Relación entre los valores relativos de la biomasa a madurez y el punto medio del tratamiento de sombreo respecto del inicio de la floración para dos cultivares de haba crecidas bajo diferentes tratamientos de sombreo durante el ciclo de cultivo en Toluca, México. La línea vertical dentro del grafico indica la DSH al 0.05 de Tukey .....	31

Figura 8. Relación entre los valores relativos del rendimiento de grano y el punto medio del tratamiento de sombreo respecto del inicio de la floración para dos cultivares de haba crecidas bajo diferentes tratamientos de sombreo durante el ciclo de cultivo en Toluca, México. La línea vertical dentro del grafico indica la DSH al 0.05 de Tukey.....	33
Figura 9. Relaciones entre los valores relativos de la biomasa a madurez y el punto medio del tratamiento de sombreo respecto del inicio de la floración para dos cultivares de haba crecidas bajo diferentes tratamientos de sombreo durante el ciclo de cultivo en Toluca, México .....	34
Figura 10. Relaciones entre el rendimiento de grano con el número de granos por unidad de superficie (a) y con el peso individual de grano (b) en dos cultivares de haba cultivados en diferentes tratamientos de sombreo impuestos antes del inicio de la floración en Toluca, México .....	35
Figura 11. Relaciones entre el número de granos por unidad de superficie (a), el peso individual de grano (b) en función de los tratamientos de sombreo impuestos después del inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México ...	37
Figura 12. Relación entre el número de granos en términos relativos y el punto medio del tratamiento de sombreo desde el inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México .....	38
Figura 13. Relación entre el peso individual de grano en términos relativos y el punto medio del tratamiento de sombreo desde el inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México .....	39
Figura 14. Relación entre el número de vainas por m <sup>2</sup> en términos relativos y el punto medio del tratamiento de sombreo desde el inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México .....	41

Figura 15. Relación entre el número de semillas por vaina relativo al control y el punto medio del tratamiento de sombreo desde el inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México .....42

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie sembrada, producción y rendimiento promedio de haba tanto verde como en grano seco para los principales estados productores.....	7
Cuadro 2. Valores de F y su significancia estadística para valores absolutos Biomasa a madurez (Biom), rendimiento de grano (Rend), índice de cosecha (IC), número de semillas por m <sup>2</sup> (NS), peso individual de grano (PIG), número de plantas por m <sup>2</sup> (NP), número de vainas por m <sup>2</sup> (NV), número de semillas por vaina (NSPV), para dos variedades sometidas a sombreado en diferentes momentos durante el ciclo, invierno primavera 2018 en Toluca, México .....	25
Cuadro 3. Valores de F y su significancia estadística para las variables biomasa a madurez (BIOM <sub>rel</sub> ), rendimiento de grano (Rend <sub>rel</sub> ), índice de cosecha (IC <sub>rel</sub> ), número de semillas por m <sup>2</sup> (NS <sub>rel</sub> ), peso individual de grano (PIG <sub>rel</sub> ), número de plantas por m <sup>2</sup> (NP <sub>rel</sub> ), número de vainas por m <sup>2</sup> (NV <sub>rel</sub> ) y número de semillas por vaina (NSPV <sub>rel</sub> ), expresadas en términos relativos para dos variedades de haba expuestas a reducciones en la radiación incidente en diferentes momentos durante el ciclo en Toluca, México .....	27
Cuadro 4. Valores medios para las variables biomasa (Biom), rendimiento (Rend), índice de cosecha (IC), número de semillas por m <sup>2</sup> (NS), peso individual de grano (PIG), número de plantas por m <sup>2</sup> (NP) y número de granos por silicua (NV), número de semillas por vaina (NSPV) para dos genotipos de haba sometidos a tratamientos de sombreado en Toluca, México .....	28

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue la determinación del periodo crítico para la generación del rendimiento el cultivo de haba y determinar los componentes fisiológicos y numéricos que son más afectados por reducciones en la radiación incidente. Para lograr esto, se estableció un experimento con dos variedades de haba (Diamante y Monarca) y tratamientos de sombreo para reducir la radiación solar, en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, durante el ciclo invierno-primavera de 2018. Los tratamientos (combinación de cultivares y momentos de sombreo) se establecieron en arreglo de parcelas divididas, en donde la parcela principal fue asignada a los cultivares y los tratamientos de sombreo a las sub-parcelas y en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. Los resultados mostraron que la biomasa en ambos cultivares definió los cambios en el rendimiento de grano. El periodo crítico para la determinación del rendimiento considera el periodo desde 11 días antes de la floración y continua 31 días después de esta. El componente numérico del rendimiento más afectado por las reducciones en la radiación incidente fue el número de granos. Mientras que los componentes numéricos del número de granos más afectados fueron el número de vaina y el número de semillas por vaina. Los resultados resaltan la importancia de la determinación de los periodos críticos como una herramienta para una mejor orientación de los programas de mejoramiento y una mejora de las prácticas de manejo tendientes a incrementar el rendimiento potencial.

Palabras clave: *Vicia faba* L., periodo crítico, rendimiento, número de granos

## **ABSTRACT**

The objective of present study was to determine the critical period for yield generation of faba bean crop and determine the physiological and numerical components that are most affected by reductions in incident radiation. To achieve this, an experiment was established with two varieties of faba bean (Diamond and Monarch) and shading treatments to reduce solar radiation, in the experimental field of the Faculty of Agricultural Sciences of the Autonomous University of the State of Mexico, during the cycle winter-spring of 2018. The treatments (combination of cultivars and shading moments) were established in arrangement of split plots, where the main plot were the cultivars and shading treatments the sub-plots and distributed in a complete block design random with 3 repetitions. The results showed that the biomass in both cultivars defined the changes in grain yield. The critical period for the determination of yield considers the period from 11 days before flowering and continues 31 days after it. The numerical component of yield most affected by the reductions in incident radiation was the number of grains. While the numerical components of the number of grains most affected were the pod number and the number of seeds per pod. The results highlight the importance of determining the critical periods as a tool for a better orientation of the improvement programs and an improvement of the management practices tending to increase the potential yield.

**Keywords:** *Vicia faba* L., critical period, yield, number of grains

## I. INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la agricultura, el hombre ha domesticado diferentes especies de plantas y animales para satisfacer sus necesidades. Gracias a la selección natural y artificial, así como a los avances en el mejoramiento genético, actualmente se dispone de una amplia gama de variedades de plantas y razas de animales que el hombre utiliza para su alimentación y otras demandas (vestimenta, medicina, etc.) (Cubero, 2002).

El haba (*Vicia faba* L.) es una especie dicotiledónea anual, perteneciente a la familia Fabaceae, que abarca tres variedades botánicas: “Minor”, cuyas semillas son de tamaño pequeño, (entre 0,3 a 0,7 cm), utilizada para alimentación animal y humana; “Equina”, con semillas de tamaño mediano y forma aplastada, con un tamaño de semilla que varía entre 1,3 y 1,7 cm, utilizada principalmente para alimentación animal y por ultimo “Major”, que es la más utilizada para consumo humano, cuyas semillas son grandes, anchas y aplanadas, midiendo entre 2 a 3 cm de largo (Faiguenbaum, 2003).

El cultivo de haba (*Vicia faba* L.) es importante en la región de los valles altos de la mesa central, región que comprende los Estados de México, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Michoacán y Guanajuato. En México se estima que el consumo per cápita anual es de 1 kg, (López, 2013). La semilla es el órgano de mayor interés por su consumo en fresco o seco; el resto de la planta se utiliza como forraje (Quiroz, 2007). En el año 2016 se tuvo una superficie sembrada en México de 36,855.20 hectáreas donde el 35.56% se destinó a la producción de haba verde y el 64.44% fue destinada para grano. El estado de México participa con el 15.70% de la

producción total del cultivo de haba a nivel nacional de grano seco y fruto verde (SIAP, 2017). De acuerdo con Gaucin, (2016) en México se importa 8% del consumo aparente de haba grano lo que representa alrededor de 36,000 toneladas.

A pesar de la relevancia que tiene el cultivo de haba, en los Valles Altos del Centro de México su uso potencial se ha restringido principalmente por su susceptibilidad a enfermedades y por la carencia de información sobre el adecuado y eficiente manejo de componentes en sistemas de producción, tanto extensivos como intensivos y bajo diferentes condiciones ambientales (Ortiz *et al.*, 1983).

En la actualidad su cultivo ha recibido mayor atención debido a que tolera bajas temperaturas y además se rota y asocia con otras especies como maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), dos de los principales granos empleados en la alimentación de los mexicanos (Pérez *et al.*, 2014).

Uno de los pilares más importantes para obtener buenos rendimientos en el cultivo es combinar el fotoperiodo con fechas de siembra que hagan coincidir las etapas fenológicas donde se generan los principales componentes numéricos del rendimiento con condiciones de mayor oferta ambiental en términos de adecuada radiación solar, temperatura y condición hídrica, a esta ventana de tiempo se le conoce como periodo crítico.

A la fecha el periodo crítico para la determinación del rendimiento se ha definido en muchas especies cultivadas tales como: trigo (Fischer, 1975, 1985; Savin y Slafer, 1991), maíz (Fischer y Palmer, 1985; Kiniry y Ritchie, 1985; Otegui y Andrade, 2000), girasol (Cantagallo *et al.*, 1997), soya (Jiang y Egli, 1993; Board y Tan, 1995),

cebada (Arisnabarreta y Miralles, 2008), triticale (Estrada-Campuzano et al., 2008) y avena (Mahadevan et al., 2016). Sin embargo, en el caso particular del cultivo de haba no se ha documentado el periodo crítico para la generación del rendimiento de semilla. La determinación de este periodo es de suma importancia ya que permite optimizar las prácticas de manejo (fecha de siembra, nutrición, etc.) tendientes a incrementar el rendimiento potencial de cualquier cultivo de grano. Con base a lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron: i) determinar los cambios en los componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento de grano en haba en función a reducciones en los niveles de radiación incidente durante diferentes etapas del ciclo ontogénico y ii) determinar la ventana de tiempo (periodo crítico) en donde la reducción en los niveles de radiación solar incidente afecta en mayor magnitud al rendimiento de semilla en el cultivo de haba.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia del cultivo de haba

#### 2.1.1 Importancia mundial

A nivel mundial el haba (*Vicia faba* L.) ocupa el séptimo lugar en importancia dentro de las leguminosas de grano, aunque también se consume la semilla inmadura de las vainas verdes. La semilla seca de haba ha tenido tradicionalmente un mercado importante en los países industrializados y es utilizada para consumo humano y animal (Crepón *et al.*, 2010). La superficie sembrada a nivel mundial es de alrededor de 2, 150, 906 ha. Los 10 principales países productores son: China, Etiopia, Australia, Marruecos, Sudan, Egipto, Reino Unido, Alemania, Perú, Italia. México ocupa el quinceavo lugar a nivel mundial. En conjunto, los principales países producen anualmente alrededor de 3 661 959 t (Cuadro 1). Contradiendo lo anterior, los países con mayores rendimientos unitarios son: Israel, Bulgaria, Argentina, Reino Unido, Uzbekistán, países bajos, Bélgica, Colombia, Alemania, Iraq, con un promedio mundial de 4.38 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 2). (FAOSTAT, 2014).

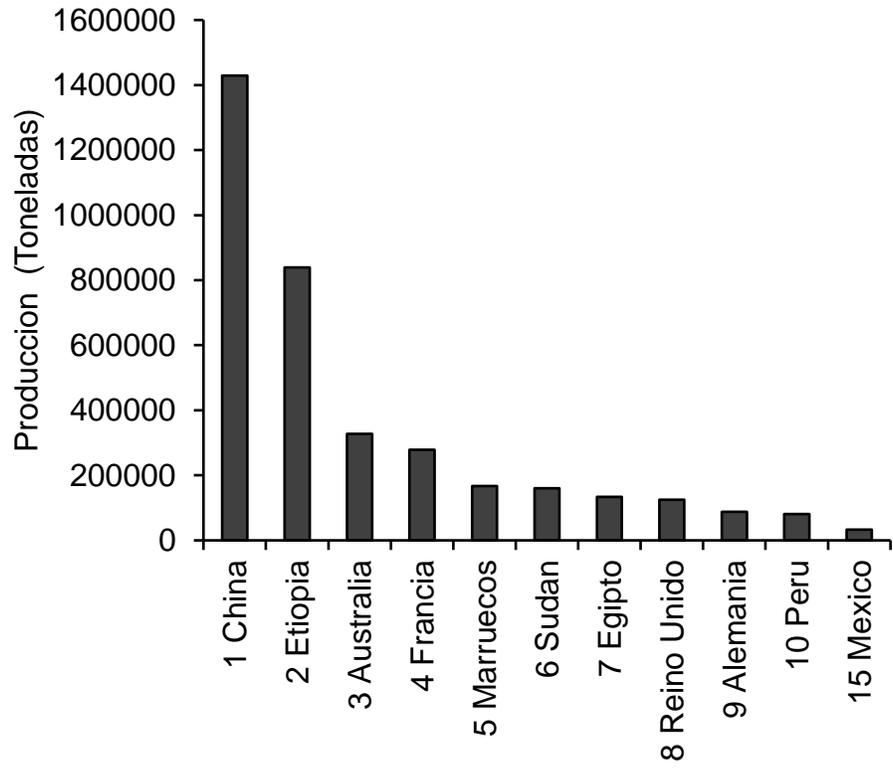


Figura 1. Producción mundial de los 10 primeros países y México (FAOSTAT, 2014).

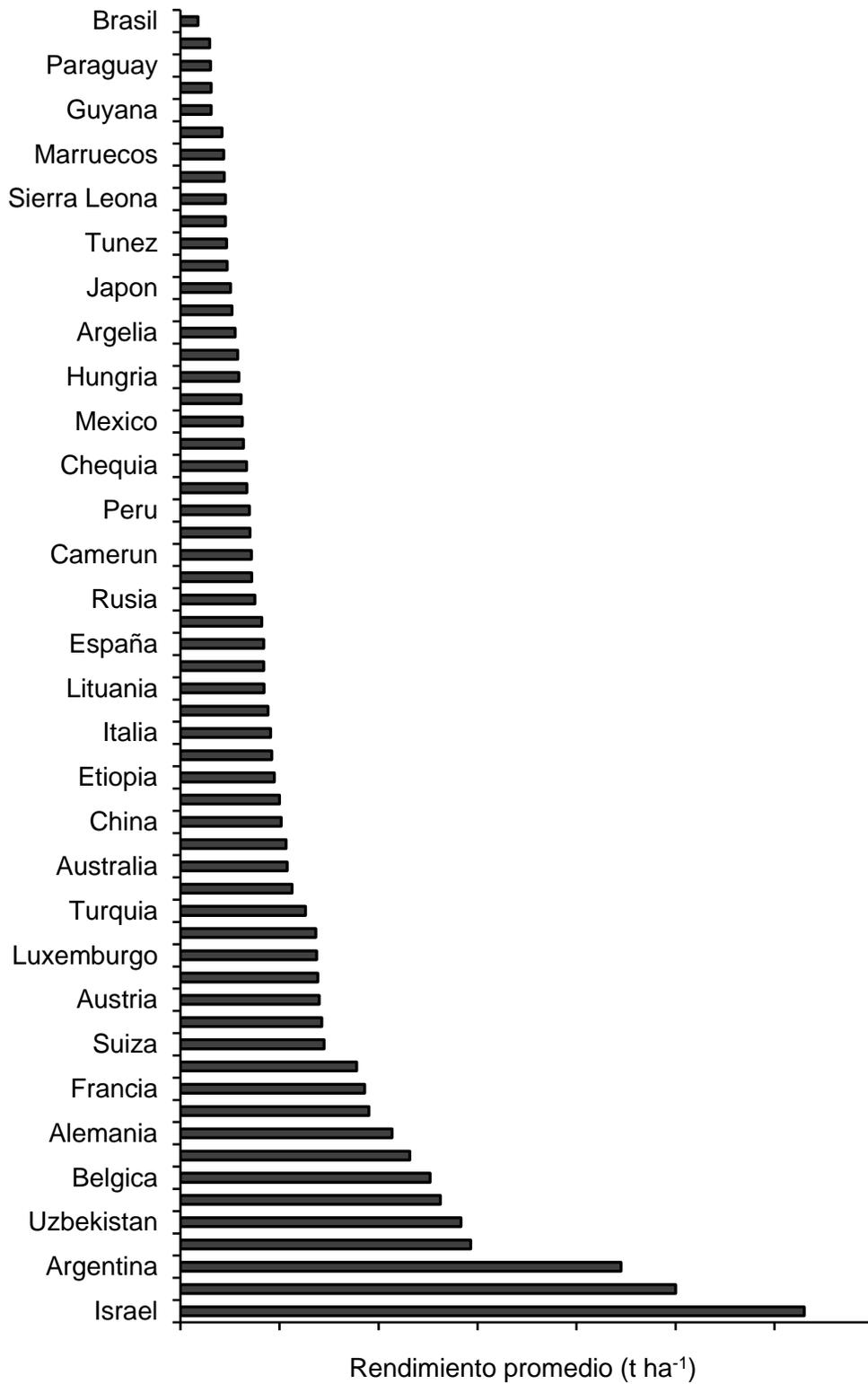


Figura 2. Rendimiento de grano seco a nivel mundial para el cultivo de haba (FAOSTAT, 2014).

### 2.1.2 Importancia nacional

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), a nivel nacional la superficie sembrada de haba para grano seco es de 23,794.12 ha; siendo Puebla el estado con mayor superficie sembrada, siguiéndole Veracruz, Tlaxcala, Hidalgo y el Estado de México (Cuadro 1) con rendimientos promedio de 1.55 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2015).

Cuadro 1. Superficie sembrada, producción y rendimiento promedio de haba tanto verde como en grano seco para los principales estados productores.

Estado	Superficie Sembrada (ha)		Producción (t)		Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	
	Verde	Grano	Verde	Grano	Verde	Grano
Puebla	5469	16083	29699	18284	6.8	1.1
México	5444	341	36121	838	6.6	2.4
Veracruz	222	6098	861	10255	3.8	1.6
Tlaxcala	1596	2831	6516	3774	4.0	1.3
Hidalgo	173	1143	987	1183	5.6	1.1

Fuente: SIAP, 2015

### 2.1.3 Importancia para el estado de México

Para el Estado de México el SIAP reporta que se siembran aproximadamente 5 785.2 hectáreas de las cuales solo 341 son destinadas a la producción de grano seco teniendo un rendimiento promedio de 2.46 toneladas por hectárea el resto 5 444.2 hectáreas son sembradas para consumo de vaina verde (SIAP, 2016).

## 2.2 Origen del haba

El origen de *Vicia faba* L. aún se debate. No se ha encontrado progenitor silvestre y existen grandes diferencias, entre *Vicia faba* y otras especies pertenecientes (*V. narbonensis*, *V. galilea*, *V. johannis* y *V. yaeniscyamus*) (Zohary y Hopf, 1973).

Raina y Ogibara (1995) mencionan que *Vicia faba* L, es una especie diploide con número cromosómico  $2n = 12$ , y  $2n = 14$  para las especies del complejo de Narbonensis. Se reporta y se acepta que el origen geográfico específico de *Vicia faba* L. era cercano Oriente y que la subespecie *V. faba paucijuga*, recientemente estudiada se encuentra en Afganistán y la India, es una forma primitiva de *Vicia faba* la cual se ha cultivado desde los primeros tiempos neolíticos.

Cubero (1974) propuso que la evolución de la especie estuvo acompañada de la expansión de su cultivo con selección para diferentes tamaños y formas de semillas. En este sentido, los ecotipos de semilla grande se desarrollaron en los países del sur del Mediterráneo y China, (*Vicia faba mayor*), estos genotipos se expandieron en el siglo XVI hacia México y Sudamérica. En medio oriente, Etiopía y norte de Europa, predomina el cultivo de genotipos con semillas pequeñas (*Vicia faba minor* concentrándose principalmente en Egipto).

## 2.3 Morfología de la planta

López (2013), describe la planta como anual, de hábito predominantemente indeterminado, de germinación hipogea, prefiere temperaturas frescas y es un cultivo popular en regiones con mayor altitud del nivel del mar.

**Raíz:** La planta tiene un sistema radicular pivotante profunda, puede alcanzar hasta un metro o más de longitud dependiendo del tipo de suelo, tiene raíces laterales, conservando los pelos absorbentes en las partes más jóvenes de la raíz, estas partes pueden desarrollar los nódulos resultado de la simbiosis con *Rhizobium leguminosarum*, el cual fija el nitrógeno atmosférico.

**Tallo:** El tallo es erecto con una altura que va desde los 50 cm hasta 2 m, con colores que van del verde al morado, la ramificación se da en las axilas de los cotiledones, es alado y hueco con forma de prisma cuadrangular.

**Hojas:** La planta presenta hojas compuestas pinnadas que se insertan en el tallo en el nudo con formación alterna en este, los folíolos son ovales, el número de folíolos va de 4 a 6, estos son sésiles insertas en un raquis con un color verde más intenso que los folíolos, este cuenta con estipulas semisaquitadas que tienen la función de proteger las yemas, las nervaduras son más visibles en la parte del envés de la hoja.

**Flor:** La flor tiene los dos sexos insertados en la misma flor con gineceo súpero unilocular y unicarpelar, ovario cilíndrico lateralmente comprimido los óvulos se insertan en una sola hilera en la sutura ventral, de 2 a 12 óvulos, el estilo es corto con estigma terminal, el androceo está formado por 10 estambres.

Las flores se agrupan en inflorescencias con forma de racimo que se alojan en las axilas de las hojas, cada racimo floral puede tener de 2 a 8 flores, las flores se insertan a través de un pedicelo a un pedúnculo y este a su vez al tallo. Cuenta con un cáliz es campanulado y oblicuo con 5 sépalos pequeños. La corola es diapétala

con cinco pétalos que forman el estandarte, las alas y la quilla; el estandarte puede ser blanco, café oscuro, café claro, violeta, rosa, rojo y amarillo, el color de las alas (pétalos laterales) pueden ser blancos, coloreado y/o moteado.

Fruto: la infrutescencia es una vaina , carnosas, alargada y gruesa, algo comprimida, las semillas están dispuestas en una hilera ventral, sobre un tabique esponjoso, el número de semillas varía dependiendo el cultivar y condiciones ambientales puede ir de 1 a 4 semillas, el tamaño de la vaina va desde 5 a 40 cm de longitud y de 1 a 3 cm de ancho, la forma de estas pueden ser aplanadas y subcilíndricas, estrechada, pueden ser rectas o curvadas, el color de la vaina en estado fresco es de color verde pasando por todas las variantes, pueden ser brillantes u opacas, estas pueden tener tres disposiciones sobre el pedicelo puede ser erecta, semierecta y caediza, el color de la vaina en su madurez fisiológica es de color café.

Semilla: La semilla es de forma elíptica, el color de la testa puede ser, negra, verde oscuro, verde claro, blanca, café oscuro, café clara, violeta y amarilla, el hilium puede ser de color blanco o negro, la longitud de las semillas puede ser de 0.5 a 3 cm y el ancho puede variar de 0.5 a 2 cm, el peso de la semilla puede variar van de los 0.5 a 2.6 g.

## **2.4 Fenología del cultivo**

En las leguminosas la fenología es regulada principalmente por la repuesta genética a la temperatura y fotoperiodo (Ellis et al, 1987). El concepto de tiempo térmico que fue descrito por Aitken (1974), tiene en cuenta este hecho, al considerar la respuesta

del cultivo a la temperatura. El tiempo térmico (grados-día o sumas térmicas) es calculado como la suma de la temperatura media diaria por encima de una determinada temperatura basal. Está implícito en el enfoque de este concepto, que la tasa de desarrollo es una función lineal de la temperatura. Monteith (1977), propuso que cuando la temperatura es inferior o igual a la temperatura base ( $T_b$ ), la tasa de desarrollo se reduce o es nula.

La  $T_b$  comúnmente utilizada para trabajos en los que se maneja el concepto de tiempo térmico en haba es  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tanto para siembra-emergencia (S-E) como para las subsecuentes etapas fenológicas (Ruiz y Minguez., 2006).

La escala extendida BBCH es un sistema para una codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de crecimiento para todas las especies de plantas mono – y dicotiledóneas. Este código decimal se divide principalmente entre los estadios de crecimiento principales y secundarios y está basado en el bien conocido código desarrollado por Zadoks *et al.* (1974) con la intención de darle un mayor uso a las claves fenológicas. López (2013) describe los cultivares obtenidos en ICAMEX con dicha escala.

#### Estadio 0 (germinación)

La germinación inicia con el crecimiento del embrión dentro de la semilla, los factores esenciales para su desarrollo son: agua, oxígeno y temperatura. En este estadio se pueden encontrar los siguientes estadios secundarios: 00) semilla seca, 01) comienzo de la imbibición, 02) fin de la imbibición de la semilla, 03) salida de la radícula de la semilla (indicador visual de la germinación), 04) brote de la plúmula

fuera de la semilla, 05) el brote crece hacia la superficie del suelo, 06) emergencia (el brote sale por encima del suelo).

#### Estadio 1 (desarrollo de hojas tallo principal)

Una vez que la planta emerge a la superficie del suelo comienza el desarrollo de hojas y en forma simultánea el crecimiento del tallo. En este estadio se pueden distinguir los siguientes estadios secundarios: 10) son visibles el primer par de hojas escamas, 11) la primera hoja se despliega, 12) dos hojas abiertas, 13) tres hojas abiertas 1). El estadio puede continuar hasta la novena o más hojas.

#### Estadio 2 (formación de brotes laterales)

Existen cultivares de *vicia faba* que son monopódicas en estas no se distinguen estas fases, en este estadio se puede observar los siguientes estadios: 20) existen o no los brotes laterales, 21) inicia el desarrollo de los brotes laterales, 22) crecimiento del segundo brote lateral, 23) se detectan tres brotes laterales, 2). Los brotes pueden llegar a 9 dependiendo la variedad.

#### Estadio 3 (crecimiento longitudinal del tallo principal)

Al emerger la planta sobre el suelo comienza el crecimiento en longitud del tallo principal se la formación de brotes laterales y en algunas variedades de brotes superiores en este estadio se pueden apreciar los siguientes estadios secundarios: 30) comienza el crecimiento longitudinal del tallo 31) se alarga y es visible el primer entrenudo extendido en este va la primera hoja verdadera, 32) dos entrenudos extendidos, 33) tres entrenudos alargados visiblemente, 3..). Los estadios continúan hasta 9 o más entre nudos alargados visiblemente.

La escala no reporta un estadio 4

Estadio 5 (aparición del órgano florar en el tallo principal)

En este estadio se puede observar los siguientes estadios secundarios: 50) los botones florales están presentes, pero todavía se encuentran rodeados por las hojas, 51) los primeros botones florales son visibles fuera de las hojas, 55) los primeros botones florales son visibles, pero aún se encuentran cerrados, 59) los primeros pétalos son visibles y hay muchos botones florales

Estadio 6 (flor en el tallo principal)

Mwanamwenge *et al.* (1999) describieron diferencias entre cultivares, con sumas térmicas que variaron entre 657 y 1550 °Cd para alcanzar la floración. En este estadio se puede distinguir los siguientes estadios secundarios 60) se observan las primeras flores abiertas, 61) inicia la floración, las flores del primer racimo están abiertas, 63) las flores de las primeras tres racimos están abiertas para el 50% de las flores 65) las flores de los primeros 5 racimos están abiertas para el 50% de las flores (se dice que está en plena floración), 67) la floración decae, 69) llega al final de su floración.

Estadio 7 (formación del fruto)

Después del proceso de fecundación se da la formación de la vaina, la aparición de estas dependen del genotipo y condiciones climáticas, en este estadio se puede ver los siguientes estadios secundarios 70) las primeras vainas alcanzan su tamaño final, 71) el 10% de las vainas han alcanzado su tamaño final, 72) el 20 % de las vainas han alcanzado su tamaño final, 73) el 30% de las vainas han

alcanzado su tamaño final, 74) el 40% de las vainas han alcanzado su tamaño final, 75) el 50% de las vainas han alcanzado su estado final 76) el 60% de las vainas ha alcanzado su tamaño final 77) el 70% de las vainas han alcanzado su tamaño final 78) 80% de las vainas han alcanzado su tamaño final 79). Del 90 a 99% han alcanzado su tamaño final.

#### Estadio 8 (maduración de frutos y semillas)

En esta etapa la planta mueve todos los fotosintatos acumulados por la planta para almacenarlos en las semillas, en esta fase la planta llega a su madurez fisiológica. En este estadio se puede observar los siguientes estadios secundarios 80) se inicia la maduración las semillas son de color verde es el inicio del llenado de la vaina, 81) el 10% de las vainas están maduras, las semillas toman consistencia seca y dura, 82) el 20% de las vainas están maduras, 83) el 30% de las vainas están maduras, 84) el 40% de las vainas están maduras 85) el 50% de las vainas están maduras y tienen coloración obscura, 86) el 60% de las vainas están maduras y son de color oscuro, las semillas están secas y duras, 87) el 70% de las vainas están maduras, 88) el 80% de las vainas están maduras. 89) en este estadio se encuentran las vainas maduras del 90 al 99%, las semillas están secas y duras.

#### Estadio 9 (senescencia)

Ellis et al. (1990), considerando una  $T_b$  de 0 °C, indicaron que el tiempo térmico requerido desde la siembra hasta la floración fue similar para un amplio número de cultivares y fue cercano a 1000 °Cd (grados-día).

En este estadio se distinguen los siguientes estadios secundarios: 93) los tallos comienzan a oscurecerse, 95) el 50% de los tallos son de un color marrón o negro, esto depende de la variedad 97) la planta está muerta y seca, 99) el producto ha perdido humedad y está listo para realizar la cosecha.

## **2.5 Importancia de periodos críticos**

En su estudio (Batygina *et al.*, 2003), determinaron al examinar el "período crítico" o la "etapa crítica" como "momento de transición" en las etapas de ontogénesis en la que las estructuras reproductivas muestran mayor sensibilidad a los impactos en los factores ambientales desfavorables, para distinguir los momentos críticos por lo general se realiza el monitoreo morfogénético y morfo-fisiológico en las que causan alometrías en las estructuras en diferentes etapas de desarrollo y su arquitectura de la planta.

A la fecha se han definido los periodos críticos para la determinación del rendimiento en muchos cultivos tales como: trigo (Fischer, 1975, 1985; Savin y Slafer, 1991), maíz (Fischer y Palmer, 1985; Kiniry y Ritchie, 1985; Otegui y Andrade, 2000), girasol (Cantagallo *et al.*, 1997), soya (Jiang y Egli, 1993; Junta y Tan, 1995), cebada (Arisnabarreta y Miralles, 2008), triticale (Estrada-Campuzano *et al.*, 2008) y avena (Mahadevan *et al.*, 2016). En el caso de haba no existen estudios desarrollados con el objetivo de determinar la etapa o etapas del ciclo del cultivo que son más sensibles a la disponibilidad de recursos, algunas evidencias solo se han enfocado a estudiar la sensibilidad a algunos tipos de estrés. Por ejemplo,

Mwanamwenge (1999), encontró que para la producción de haba el estrés por falta de agua al inicio del cultivo representa una pérdida del rendimiento del 50% debido a la reducción del área foliar.

## **2.6 Componentes del rendimiento**

Se han realizado numerosos estudios para determinar los componentes del rendimiento entre los que se encuentran: el número de semillas por planta, (Cuadros, 1989); así como, el número de granos por vaina (Ortiz *et al.*, 1986); la altura de la planta, componente que guarda una correlación negativa con el rendimiento (Martínez, 1999); la altura de la primer vaina tiene influencia sobre el rendimiento y el número de vainas en el tallo principal, otro componente es el número de ramas (Cuadros, 1989); por su parte Talal (2006) afirma que el número de nudos productivos y la calidad de semilla son determinantes en el rendimiento y se encuentran influenciados por la fecha de siembra. Por otro lado, el peso de 100 semillas está considerado también como componente del rendimiento (Salem y El Nakhlawy, 1987), del mismo modo, Cuadros *et al.* (1986) consideraron como componente importante del rendimiento al peso unitario de la semilla, aunque otros autores señalen que no influye en el rendimiento. Graf y Rowland (1987), señalan que los componentes primarios del rendimiento son: vainas por planta y número de vainas por nudo, este último es el que contribuye a la mayor estabilidad en el rendimiento, al igual que Rowlands (1955), definió que los componentes principales del rendimiento en el cultivo de haba son: peso de semilla, número de semillas por vaina y número de vainas por planta, lo explica en la Figura 3.

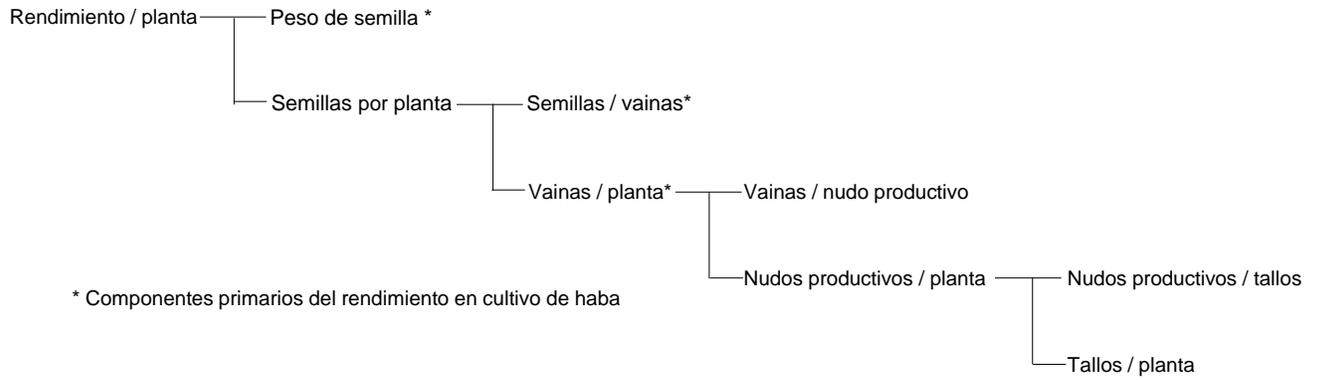


Figura 3. Componentes primarios del rendimiento en cultivo de haba adaptado de Rowlands (1955).

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 Ubicación del experimento**

El experimento se realizó en el ciclo invierno- primavera 2017 – 2018 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 Köpen, 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 (Pérez y Gonzales, 2007). 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).

#### **3.2 Estructura de tratamientos y diseño experimental**

Los tratamientos estuvieron constituidos por una combinación factorial de 2 cultivares de haba (Var. Monarca de 180 días MF y Var. Diamante de 180 días MF) y tratamientos de sombreo de 10 días de duración, aplicados desde la aparición de

la 3a o 4a hoja verdadera hasta la madurez fisiológica. Se consideró un tratamiento control (sin sombreado). Los tratamientos (combinación de cultivares y momentos de sombreado) se establecieron en un arreglo de parcelas divididas, en donde la parcela principal fue asignada a los cultivares y los momentos de sombreado las sub-parcelas y se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones.

### **3.3 Condiciones generales del experimento**

La siembra del experimento se realizó en forma manual en el mes de enero de 2018 en parcelas de 3 surcos de 3 m de largo y separados a 0.8m. En la siembra se depositaron dos semillas a una distancia de 20 cm entre plantas, para posteriormente aclarar a solo una planta por mata. El experimento fue conducido sin limitaciones de agua y nutrientes, la disponibilidad de humedad fue provista por medio de cintas de riego por goteo de tal forma que se mantuvo la humedad cercana a la capacidad de campo. La fertilización consistió en la fórmula 69-69-30 utilizando como fuentes para nitrógeno a la Urea, como fósforo al superfosfato de calcio triple y como potasio al cloruro de potasio. El control de malezas se realizó de manera mecánica y manual durante todo el experimento. Durante el desarrollo del experimento se monitorearon las principales variables climáticas utilizando para ello una estación climática (Davis Instruments, In) que se encuentra instalada a 200 m metros del terreno.

### **3.4 Variables a evaluar**

#### **3.4.1 Fenología**

Se determinó la fenología del cultivo a lo largo del ciclo, registrándose las siguientes etapas fenológicas:

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

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

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

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

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

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

### 3.4.3 Radiación interceptada

Se registró la radiación incidente ( $I_0$ ) y transmitida ( $I_t$ ) al menos dos veces por semana durante el desarrollo del cultivo, utilizando un Ceptometro lineal de 1.0 m de longitud (DECAGON, In). El registro de estos datos se realizó en días despejados cuando el sol se encontraba en su zenit. Para registrar el porcentaje de radiación interceptada ( $\mu\text{mol} / ((\text{m}^2) (\text{s}))$ ), por el dosel el ceptómetro se colocó entre los dos surcos centrales de cada parcela midiéndose en tres lugares diferentes de cada parcela la radiación en forma diagonal al surcado y en un ángulo de  $45^\circ$  y siguiendo el nivel de hojas marchitas, utilizando el valor promedio de dichas mediciones como el valor de la radiación transmitida por el dosel del cultivo (Slafer *et al.*, 1990).

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

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

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

### 3.4.4 Producción de biomasa, rendimiento y sus componentes

Después de madurez fisiológica se realizó el muestreo de cosecha abarcando 1 m lineal (o 2 muestreos de 50 cm como mínimo). Las plantas cosechadas se separaron en ramas y/o tallo principal. Se contaron las vainas de cada estrato y se cosecharon

por separado para obtener el peso seco de granos (rendimiento) de las ramas principales. Se tomaron 2 muestras de 100 granos de cada parcela para calcular el peso de 1000 granos y con ese dato se calculó el número de granos por unidad de superficie.

#### **3.4.5 Análisis estadístico**

Las variables de respuesta del experimento fueron sometidas a análisis de varianza de acuerdo con el modelo que contempla el diseño utilizado (Littell *et al.*, 1996). Cuando la prueba de F de los análisis de varianza resultó significativa, se procedió a realizar la prueba de medias utilizando para ello la diferencia significativa honesta (DSH) de la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5% (Palaniswamy y Palaniswamy, 2006). Las relaciones entre variables fueron analizadas mediante análisis de regresión y se ajustaron modelos lineales, bilineales, ó sigmoideos (TBL curve, Jandel Scientific, AISN Software) según la variable.

## IV RESULTADOS

### 4.1 Condiciones climáticas

En la Figura 3 se observa que durante el desarrollo del experimento la precipitación fue esporádica y mínima, sin embargo, esto no representó una limitante ya que el experimento se desarrolló con riego por goteo. Las temperaturas mínimas oscilaron entre los  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $12^{\circ}\text{C}$  durante el desarrollo del cultivo, mientras que las temperaturas medias rondaron entre los  $6^{\circ}\text{C}$  a  $15^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado, las temperaturas máximas registradas estuvieron entre los  $19^{\circ}\text{C}$  y  $26^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas prevalcientes durante el desarrollo del experimento no representaron una limitante ambiental y mucho menos en la etapa de inicio de la floración.

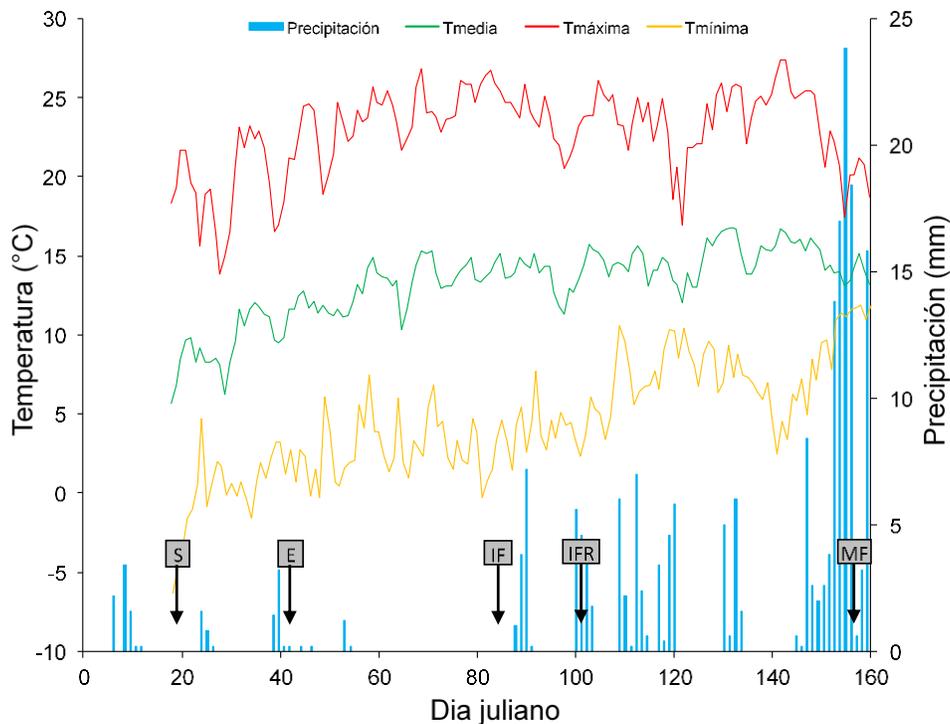


Figura 4. Condiciones climáticas prevalcientes desde enero hasta junio de 2018 en la Facultad de Ciencias Agrícolas. S=siembra, E= emergencia de plantas, IF= inicio de la floración, IFR= inicio de la fructificación, MF= madurez fisiológica.

*Fuente: Estación climática de la Facultad, 2018.*

## 4.2 Análisis de varianza

Los análisis de varianza para los componentes fisiológicos y numéricos del rendimiento en términos absolutos se aprecian en el Cuadro 2, donde se observa que para bloques no se observaron diferencias significativas para ninguna de las variables estudiadas, con excepción del peso individual de grano (PIG) y número de plantas por m<sup>2</sup> (NP). Por otra parte, para el factor variedad no se observaron efectos significativos en ninguna de las variables analizadas, con excepción del PIG y NP ( $P < 0.05$ ). Los valores de F para tratamientos de sombreado resultaron significativos ( $P < 0.05$ ) únicamente para la producción de biomasa (Biom) e índice de cosecha (IC). La interacción variedad x tratamiento resultó significativa para rendimiento de grano (RG), IC, número de semillas por m<sup>2</sup> (NS) y número de semillas por vaina (NSPV), en el resto de las variables no se observaron efectos significativos para dicha interacción. Los coeficientes de variación oscilaron entre 8.74 y 17.01% para número de semillas por vaina y peso individual de grano, respectivamente.

Cuadro 2. Valores de F y su significancia estadística para valores absolutos Biomasa a madurez (Biom), rendimiento de grano (Rend), índice de cosecha (IC), número de semillas por m<sup>2</sup> (NS), peso individual de grano (PIG), número de plantas por m<sup>2</sup> (NP), número de vainas por m<sup>2</sup> (NV), número de semillas por vaina (NSPV), para dos variedades sometidas a sombreado en diferentes momentos durante el ciclo, invierno primavera 2018 en Toluca, México.

Fuente de variación	g.l	Biom. (g m <sup>-2</sup> )	Rend. (g m <sup>-2</sup> )	IC	NS (m <sup>-2</sup> )	PIG (mg)	NP (m <sup>-2</sup> )	NV (m <sup>-2</sup> )	NSPV
Bloques	2	12.32 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	42.27*	39.00*	2.75 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>
Variedad	1	0.28 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	24.41*	30.25*	13.77 <sup>ns</sup>	4.65 <sup>ns</sup>
Error a (CM)	2	2613.27	713.56	0.00	671.04	0.07	0.06	24.10	0.02
Tratamiento	11	2.02*	14.0**	2.13*	4.82**	5.59**	6.46**	6.71**	5.87**
V x T	11	0.49 <sup>ns</sup>	6.05**	2.52**	4.62**	1.97 <sup>ns</sup>	1.90 <sup>ns</sup>	2.12*	2.62**
Error b (CM)	40	3915.3	283.4	0.00	148.6	0.65	0.59	46.77	0.01
C.V (%)		14.91	10.38	15.05	11.64	17.01	16.48	9.89	8.74

\*Significativo al 0.05; \*\*Significativo al 0.01 y <sup>ns</sup> No significativo

Los valores de F de los análisis de varianza para las variables estudiadas expresadas en términos relativos se presentan en el Cuadro 3, en donde se aprecia que para el caso de bloques existieron efectos significativos ( $P < 0.05$ ) en las variables biomasa a madurez (BIOM) y NP, para el resto de las variables analizadas no existieron diferencias significativas. Por otro lado, para el factor genotipos no se observaron efectos significativos para ninguna de las variables estudiadas, con excepción del número de plantas por unidad de superficie en la cual existieron diferencias significativas en este factor. En el caso de los tratamientos de sombreado los valores de F resultaron significativos ( $P < 0.05$ ) en las variables biomasa a madurez, índice de cosecha y peso individual de grano, mientras que para el resto de las variables analizadas se pudieron observar diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ). La interacción variedad por tratamiento de sombreado estuvo presente de manera altamente significativa ( $P < 0.01$ ) para las variables rendimiento de grano, índice de cosecha y número de semillas por unidad de superficie y en forma significativa ( $P < 0.05$ ) para número de vainas por  $m^2$ . Los coeficientes de variación oscilaron entre 9.58 y 16.85 % que correspondieron a número de vainas y número de plantas ambas por  $m^2$ , respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de F y su significancia estadística para las variables biomasa a madurez (BIOM<sub>rel</sub>), rendimiento de grano (Rend<sub>rel</sub>), índice de cosecha (IC<sub>rel</sub>), número de semillas por m<sup>2</sup> (NS<sub>rel</sub>), peso individual de grano (PIG<sub>rel</sub>), número de plantas por m<sup>2</sup> (NP<sub>rel</sub>), número de vainas por m<sup>2</sup> (NV<sub>rel</sub>) y número de semillas por vaina (NSPV<sub>rel</sub>), expresadas en términos relativos para dos variedades de haba expuestas a reducciones en la radiación incidente en diferentes momentos durante el ciclo en Toluca, México.

Fuente de variación	g.l	BIOM <sub>rel</sub>	Rend <sub>rel</sub>	IC <sub>rel</sub>	NS <sub>rel</sub>	PIG <sub>rel</sub>	NP <sub>rel</sub>	NV <sub>rel</sub>	NSPV <sub>rel</sub>
Bloques	2	66.24**	1.09 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	11.31 <sup>ns</sup>	1.70 <sup>ns</sup>	125.3**	0.00 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>
Variedad	1	0.86 <sup>ns</sup>	1.13 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	2.31 <sup>ns</sup>	140.6**	0.70 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>
Error a (CM)	2	0.00	0.04	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01
Tratamiento	11	2.20*	13.62**	2.24*	4.36**	2.04*	5.69**	6.76**	5.05**
V x T	11	0.58 <sup>ns</sup>	6.2**	2.57**	4.25**	1.99 <sup>ns</sup>	1.97 <sup>ns</sup>	2.16*	1.92 <sup>ns</sup>
Error b (CM)	40	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
C.V (%)		14.60	10.53	14.72	12.11	12.35	16.85	9.85	9.58

\*Significativo al 0.05; \*\*Significativo al 0.01 y <sup>ns</sup> No significativo

La prueba de medias para las variables estudiadas en los testigos de ambas variedades se muestra en el Cuadro 4, en el cual se observa que ambos genotipos no difirieron de manera significativa en ninguna de las variables analizadas, sin embargo, el cultivar Monarca obtuvo valores absolutos ligeramente más altos que Diamante en algunos de los caracteres estudiados.

Cuadro 4. Valores medios para las variables biomasa (Biom), rendimiento (Rend), índice de cosecha (IC), número de semillas por m<sup>2</sup> (NS), peso individual de grano (PIG), número de plantas por m<sup>2</sup> (NP) y número de granos por vaina (NV), número de semillas por vaina (NSPV) para dos genotipos de haba sometidos a tratamientos de sombreo en Toluca, México.

Fuente de variación	Biom (g m <sup>-2</sup> )	Rend (g m <sup>-2</sup> )	IC	NS (m <sup>-2</sup> )	PIG (g)	NP (m <sup>-2</sup> )	NV (m <sup>-2</sup> )	NSPV
Diamante	425.9a	186.7a	0.39a	125.6a	6.1a	6.0a	81.6a	1.5a
Monarca	476.1a	202.3a	0.39a	127.6a	6.0a	6.0a	84.3a	1.7a

En la Figura 5 se presenta la relación entre el rendimiento de grano y sus dos componentes fisiológicos, en donde se puede apreciar que los cambios en el rendimiento de grano por efecto de los tratamientos de sombreo impuestos en prefloración fueron atribuibles a cambios en la producción de biomasa en ambos genotipos por separado, en donde el cultivar Diamante presentó rendimientos superiores al cultivar Monarca en todos los tratamientos evaluados (Figura 5a), así también, fue claro que las mayores reducciones en el rendimiento de grano se

registraron en los tratamientos que se impusieron inmediatamente antes del inicio de la floración. Por otro lado, la relación del rendimiento con el índice de cosecha (Figura 5b), mantuvo una sola relación ( $r^2=0.54$   $P<0.01$ ) para ambos cultivares donde las mayores reducciones en el índice de cosecha fueron observadas en aquellos tratamientos impuestos inmediatamente antes del inicio de la floración.

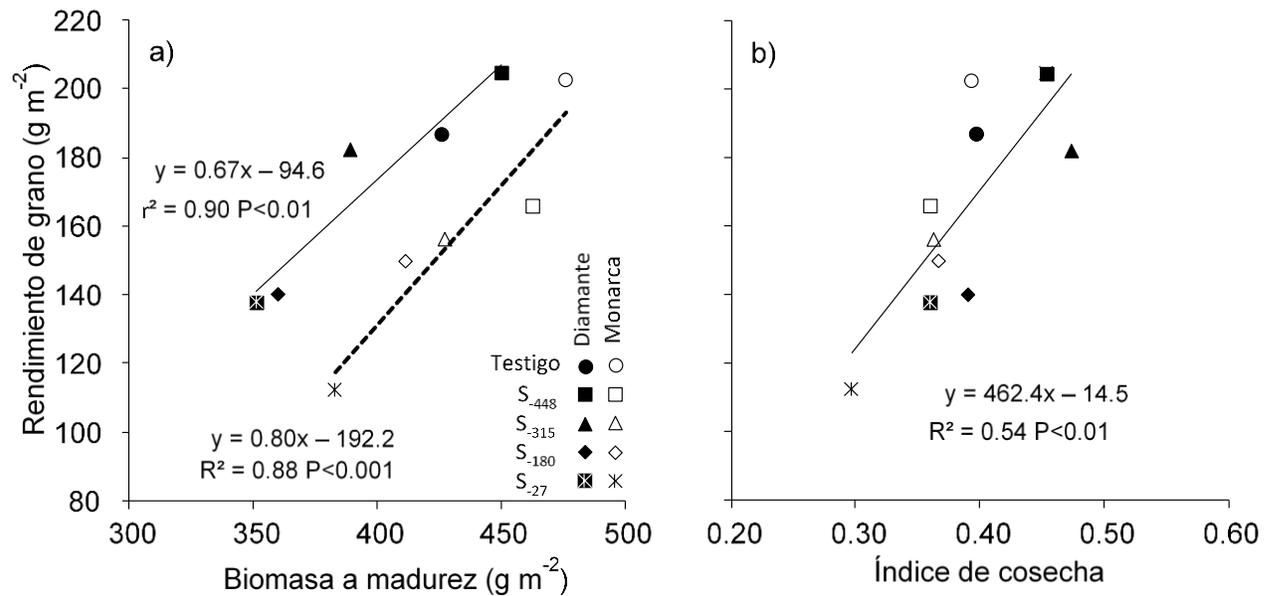


Figura 5. Relaciones entre el rendimiento de grano con la biomasa a madurez (a) y el índice de cosecha (b) para dos cultivares de haba crecidos en diferentes tratamientos de sombreado impuestos antes del inicio de la floración, en Toluca México.

Al analizar los cambios en el rendimiento por efecto de los tratamientos de sombreado impuestos inmediatamente después del inicio de la floración, se pudo observar que éstos fueron explicados principalmente por modificaciones en la biomasa a madurez ( $r^2=0.72$   $P<0.01$ ) y en menor grado por el índice de cosecha ( $r^2=0.40$   $P<0.05$ ) (Figura

6). Así mismo, se pudo apreciar que los tratamientos de sombreo impuestos inmediatamente después del inicio de la floración redujeron tanto la biomasa a madurez como el índice de cosecha, mientras que en aquellos tratamientos que se ubicaron muy cercanos a la madurez no se vieron modificados estos caracteres.

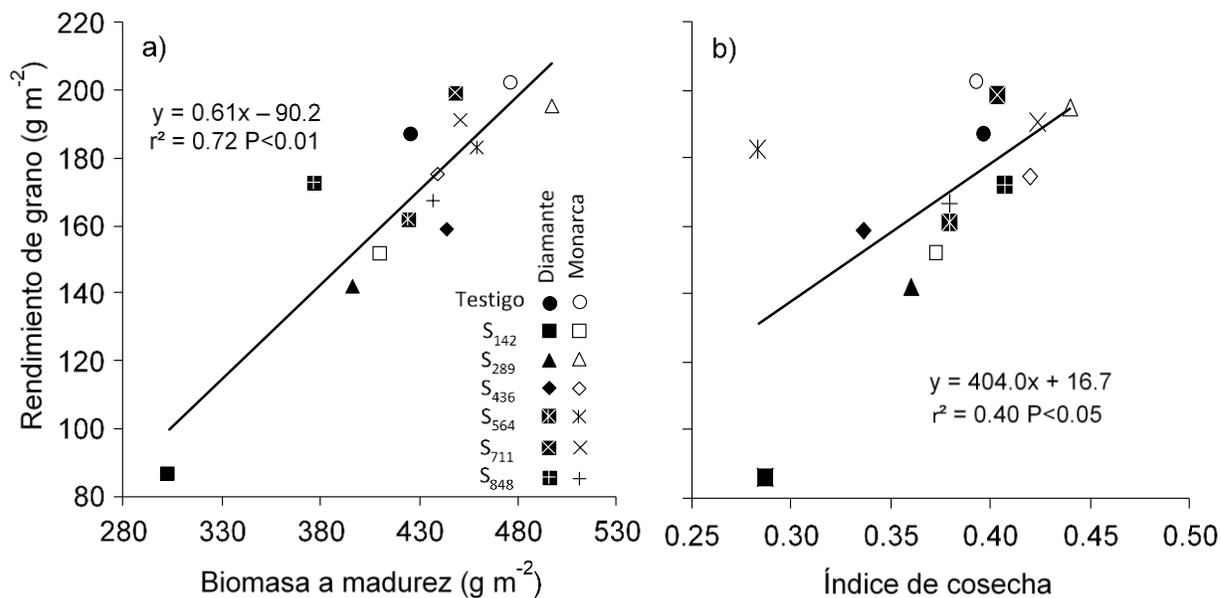


Figura 6. Relaciones entre el rendimiento de grano con la biomasa a madurez (a) y el índice de cosecha (b) para dos cultivares de haba crecidos en diferentes tratamientos de sombreo impuestos después del inicio de la floración, en Toluca México.

En la Figura 7, se muestra la relación entre la biomasa a madurez en términos relativos y el punto medio del tratamiento de sombreado respecto al inicio de la floración, en la cual se aprecia que para ambos cultivares existe reducción en la producción de biomasa a partir del segundo tratamiento siendo el cultivar Monarca el que presenta la caída más drástica en el 4to tratamiento (27 °Cd), mientras que en el cultivar Diamante la reducciones más significativas en biomasa se observaron en el 5to tratamiento (142 °Cd o 10 días después del inicio de la floración), los dos cultivares mantuvieron un comportamiento similar a partir del sexto tratamiento postfloración sobresaliendo Diamante con rendimientos relativos iguales o superiores al control, mientras que los rendimientos relativos de Monarca se mantuvieron por debajo del control, hasta la madurez fisiológica. Sin embargo, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas (Figura 7).

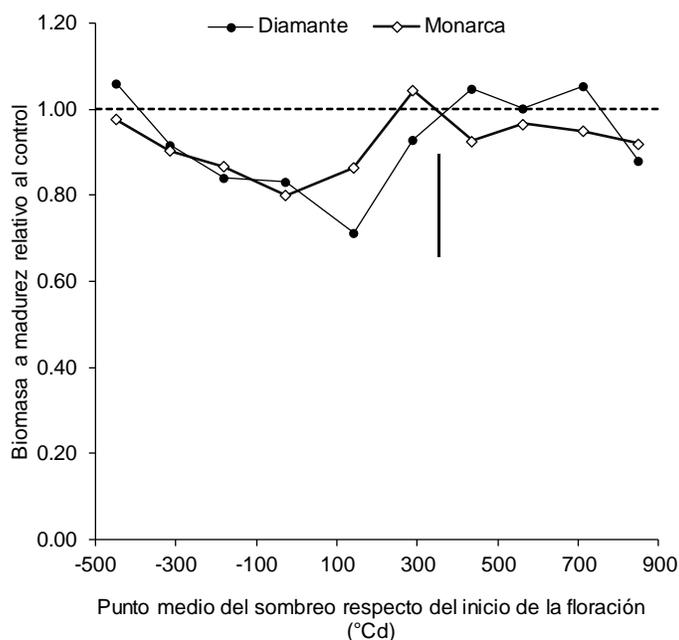


Figura 7. Relaciones entre los valores relativos de la biomasa a madurez y el punto medio del tratamiento de sombreado respecto del inicio de la floración para dos

cultivares de haba crecidas bajo diferentes tratamientos de sombreo durante el ciclo de cultivo en Toluca, México. La línea vertical dentro del grafico indica la DSH al 0.05 de Tukey.

Al analizar los cambios relativos en el rendimiento de grano y el punto medio de los tratamientos de sombreo respecto al inicio de la floración se observó que cada cultivar mostró un comportamiento distinto en términos de las reducciones más significativas en el rendimiento. Al respecto, en el cultivar Monarca se pudieron apreciar reducciones significativas en el rendimiento de grano en el periodo comprendido desde 250 °Cd antes del inicio de la floración hasta ca. 200 °Cd después de esta, siendo las máximas reducciones del orden del 42% y con una duración promedio de 450 °Cd. Por otro lado, el periodo crítico en el cultivar Diamante fue ligeramente más amplio respecto al de Monarca, ya que comprendió desde 200 °Cd antes del inicio de la floración hasta 400 °Cd después de ésta, con una duración de 600 °Cd, en este cultivar las máximas reducciones en el rendimiento de grano por efecto de una menor radiación incidente fueron del orden de 55% (Figura 8)

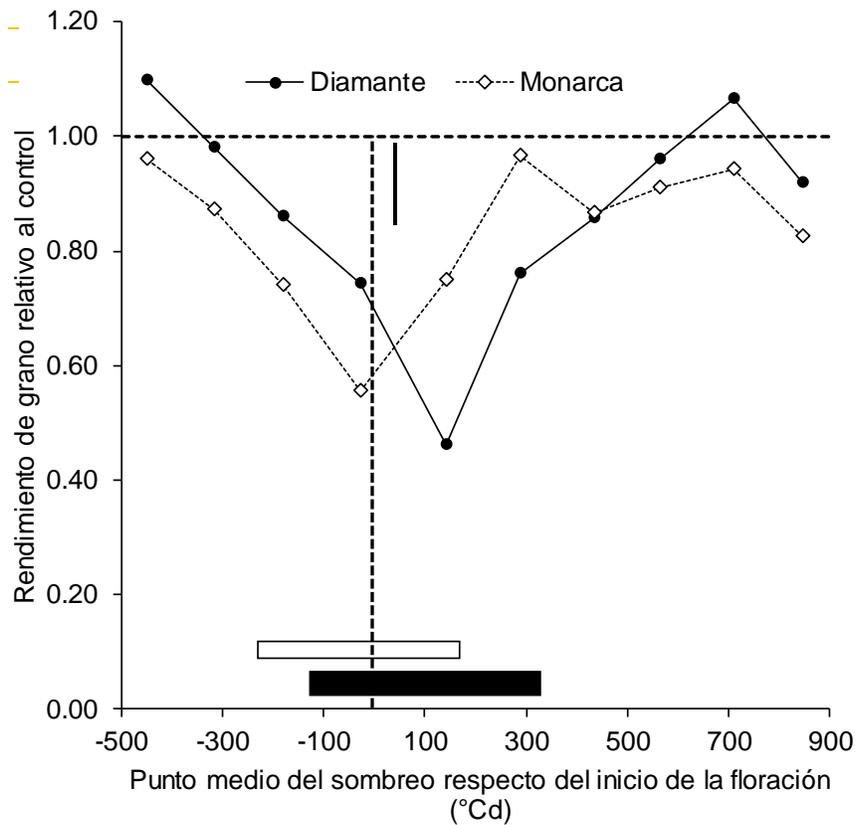


Figura 8. Relación entre los valores relativos del rendimiento de grano y el punto medio del tratamiento de sombreado respecto del inicio de la floración para dos cultivares de haba crecidas bajo diferentes tratamientos de sombreado durante el ciclo de cultivo en Toluca, México. La línea vertical dentro del gráfico indica la DSH de Tukey al 0.05.

Los cambios relativos en el índice de cosecha en función de los puntos medios de los tratamientos de sombreado respecto al inicio de la floración se presentan en la Figura 8, en la cual se aprecia que para el caso del cultivar Diamante las reducciones más significativas en esta variable se observaron con el tratamiento de

sombreo impuesto inmediatamente después del inicio de la floración, mientras que en el cultivar Monarca las mayores reducciones en el índice de cosecha fueron del orden del 20%, y resultaron estadísticamente significativas solo para el tratamiento impuesto 27 °Cd antes del inicio de la floración.

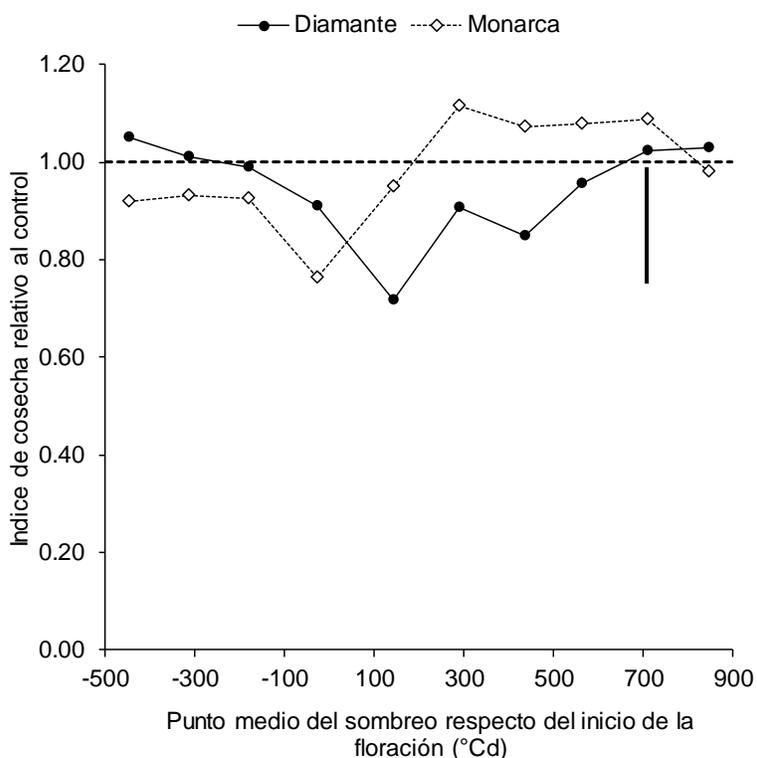


Figura 9. Relaciones los valores relativos de la biomasa a madurez y el punto medio del tratamiento de sombreado respecto del inicio de la floración para dos cultivares de haba crecidas bajo diferentes tratamientos de sombreado durante el ciclo de cultivo en Toluca, México. La línea vertical dentro del gráfico indica la DSH de Tukey al 0.05.

La relación entre el rendimiento de grano con sus componentes numéricos se muestra en la Figura 10, en esta figura se puede apreciar que los cambios observados en el rendimiento de grano por efecto del genotipo y tratamientos de

sombreo impuestos antes del inicio de la floración fueron debidos principalmente a variaciones en el número de granos ( $r^2=0.66$   $P<0.01$ ) (Figura 10a) ya que no existió ninguna relación entre el rendimiento de grano y el peso individual de grano (Figura 10b). Por otro lado, se observa que el número de granos fue significativamente afectado por aquellos tratamientos de sombreado que fueron impuestos inmediatamente antes del inicio de la floración (S-180 y S-27).

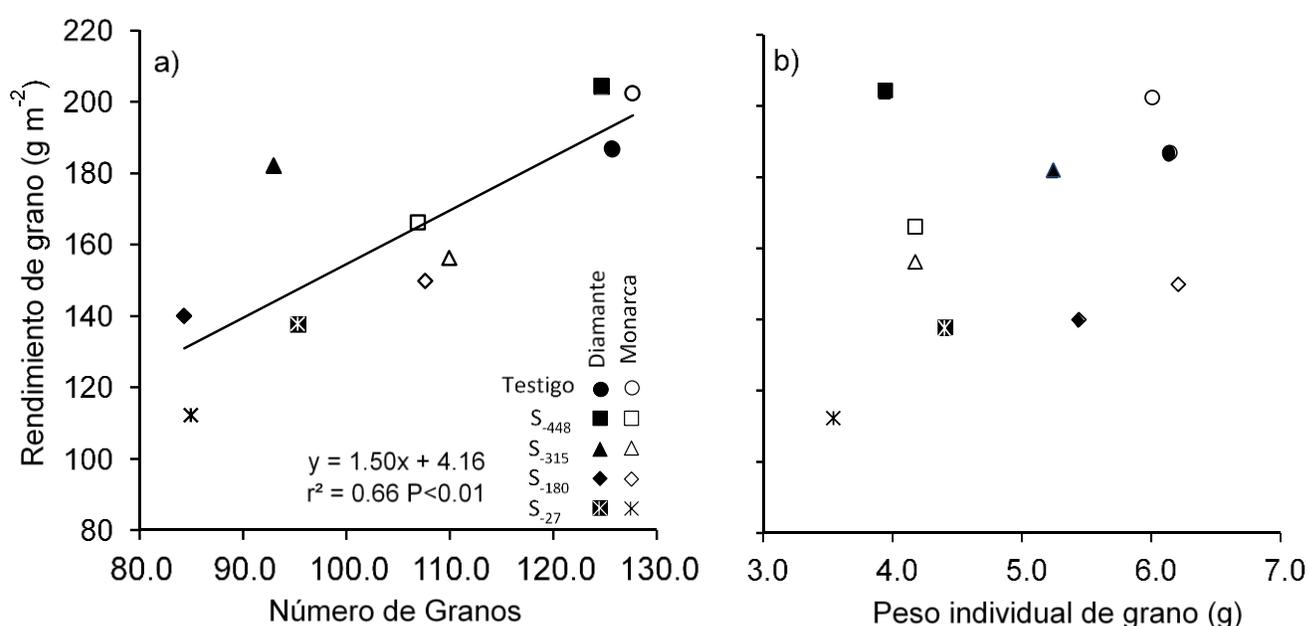


Figura 10. Relaciones entre el rendimiento de grano con el número de granos por unidad de superficie (a) y con el peso individual de grano (b) en dos cultivares de haba cultivados en diferentes tratamientos de sombreado impuestos antes del inicio de la floración en Toluca México.

El análisis de los componentes numéricos del rendimiento de grano en función de los tratamientos de sombreado impuestos después del inicio de la floración, indicó que en ambos cultivares los tres tratamientos de sombreado impuestos inmediatamente

después de la floración ( $S_{142}$ ,  $S_{289}$  y  $S_{436}$ ) causaron reducciones significativas en el número de granos con magnitud diferencial en función del genotipo, mientras que aquellos tratamientos de sombreado impuestos hacia el final del ciclo no afectaron esta variable (Figura 11a). Por otro lado, el peso individual de grano se redujo de manera significativa en casi todos los tratamientos de sombreado impuestos en postfloración, aunque la magnitud de cambio dependió en mayor medida del genotipo y el momento de sombreado, sin existir una tendencia muy clara en este último factor (Figura 11b). Por ejemplo, en el caso del cultivar Diamante no obstante de que todos los tratamientos aplicados después de la floración redujeron en peso de grano los que afectaron en mayor medida esta variable fueron  $S_{142}$ ,  $S_{289}$ ,  $S_{564}$  y  $S_{848}$ , siendo estas reducciones en promedio del 39%, respecto al testigo sin sombrear. Para el caso, del cultivar Monarca todos los tratamientos de sombreado postfloración afectaron de manera significativa el peso de grano, con excepción del tratamiento  $S_{142}$  impuesto inmediatamente después del inicio de la floración, en este cultivar las reducciones en el peso de grano fueron en promedio del 16% (Figura 11b).

La relación entre el número de granos relativo y el punto medio de cada uno de los tratamientos de sombreado desde el inicio de la floración, reveló que ambos genotipos presentaron un comportamiento diferencial en términos de las reducciones en el número de granos por efecto de la disminución en los niveles de radiación solar incidente. Cabe señalar, que en ambos cultivares las reducciones en el número de granos iniciaron de manera significativa en el mismo momento, sin embargo, la duración del periodo fue diferente (Figura 12).

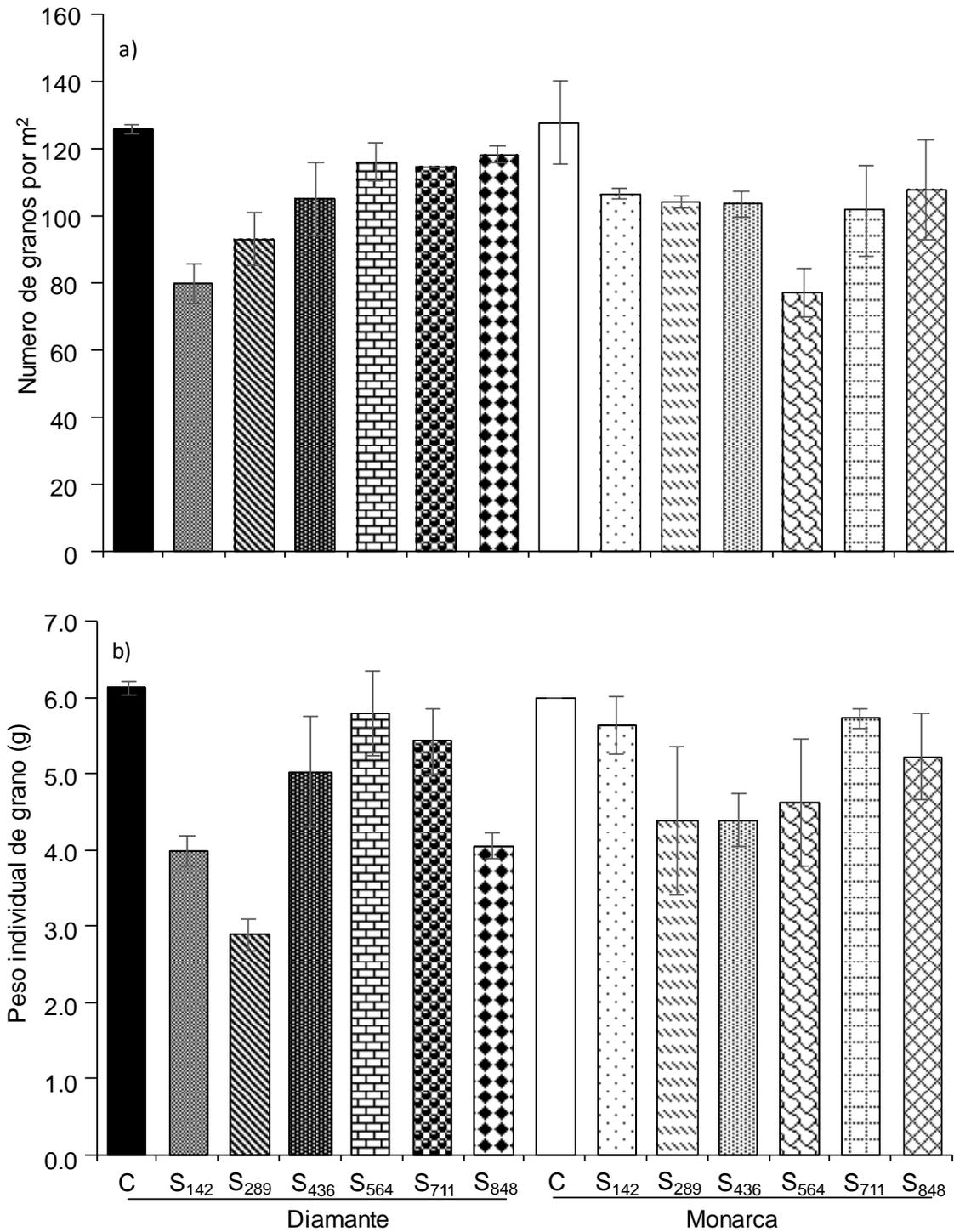


Figura 11. Relaciones entre el número de granos por unidad de superficie (a), el peso individual de grano (b) en función de los tratamientos de sombreo impuestos después del inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México.

En este sentido, el periodo crítico de ambos cultivares inició alrededor de los 170 °Cd antes del inicio de la floración y hasta 150 °Cd después del inicio de la floración con una duración total de 320 °Cd para el caso del cultivar Monarca, mientras que para Diamante este periodo se extendió hasta ca. 350 °Cd después del inicio de la floración, con una duración total de 520 °Cd (Figura 12). Cabe señalar, que en ambos cultivares las máximas reducciones en el número de granos fueron de ca. 40%. En el caso de Monarca la reducción más severa ocurrió con el tratamiento impuesto inmediatamente antes del inicio de la floración, mientras que en Diamante con el tratamiento aplicado inmediatamente después de esta etapa (Figura 12).

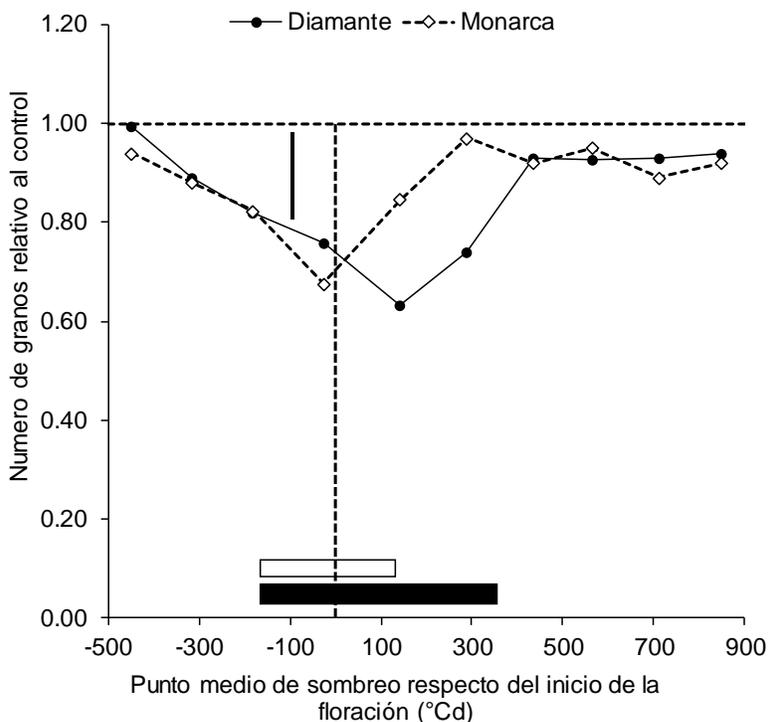


Figura 12. Relación entre el número de granos en términos relativos y el punto medio del tratamiento de sombreo desde el inicio de la floración en dos cultivares

de haba en Toluca, México. La línea vertical dentro del gráfico indica la DHS al 0.05 de Tukey

Al analizar el comportamiento relativo del peso individual de grano en función al punto medio del tratamiento de sombreo desde floración, se pudo apreciar que el peso de grano no sufrió cambios significativos por efecto de las reducciones en los niveles de radiación incidente en ninguno de los cultivares utilizados (Figura 13). Cabe señalar que en el cultivar Monarca se apreció una ligera compensación en el peso de grano principalmente en aquellos tratamientos de sombreo postfloración.

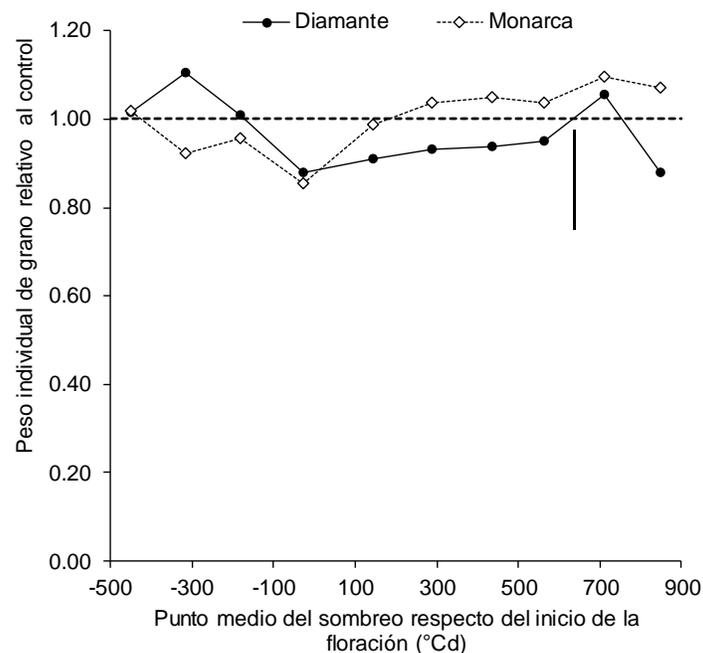


Figura 13. Relación entre el peso individual de grano en términos relativos y el punto medio del tratamiento de sombreo desde el inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México. La línea vertical dentro del gráfico indica la DSH de Tukey al 0.05.

En la Figura 14, se presenta la relación entre el número relativo de vainas por m<sup>2</sup> en función del punto medio del tratamiento de sombreado, en la cual se puede apreciar que las caídas en el número de vainas por unidad de superficie estuvieron en línea con las reducciones en el número de granos, de tal forma que para el cultivar Monarca existió una disminución significativa en el número de vainas en aquellos tratamientos de sombreado centrados alrededor de la floración, mientras que en el cultivar Diamante dicha reducción se ubicó en los sombreados impuestos inmediatamente después del inicio de la floración. Cabe señalar que también se observaron reducciones en esta variable en aquellos tratamientos de sombreado cercanos a los 500°Cd después del inicio de la floración. Estas reducciones en el número de vainas por m<sup>2</sup> hacia el final del ciclo oscilaron entre 27 y 43% siendo las reducciones más severas para esta variable en el cultivar Diamante (Figura 14).

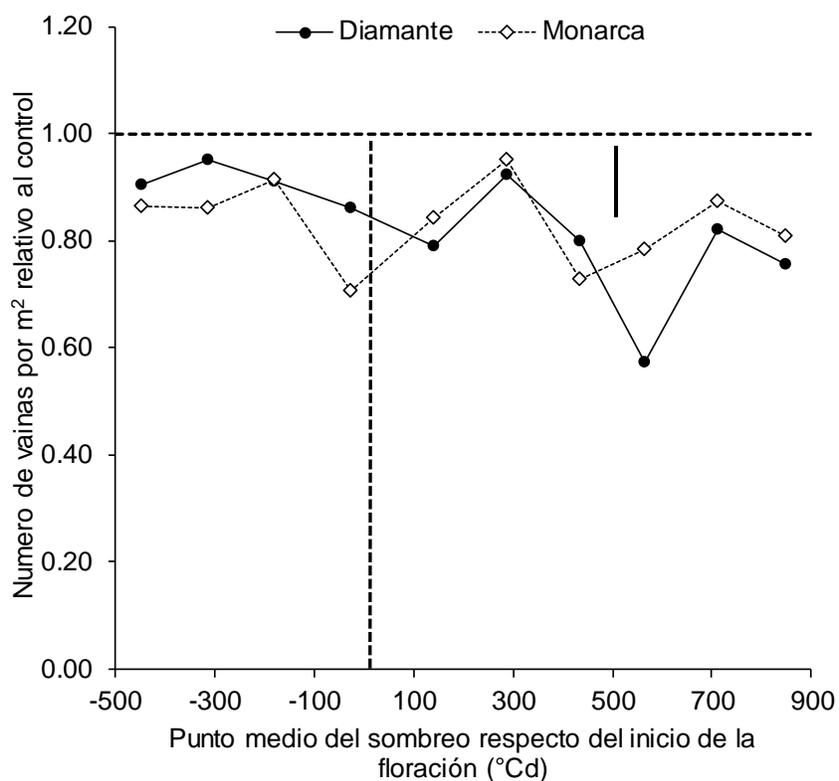


Figura 14. Relación entre el número de vainas por m<sup>2</sup> en términos relativos y el punto medio del tratamiento de sombreado desde el inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México. La línea vertical dentro del gráfico indica la DSH de Tukey al 0.05.

La relación entre el número de semillas por vaina relativo al control y el punto medio del tratamiento de sombreado, reveló reducciones en esta variable entre 22 y 19% a los ca 50 y 550 °Cd, respectivamente antes y después del inicio de la floración. Por otro lado, en el cultivar Diamante estas reducciones fueron significativas en el orden de 25 a 28% durante el periodo comprendido entre 120 y 280 °Cd después del inicio de la floración (Figura 15).

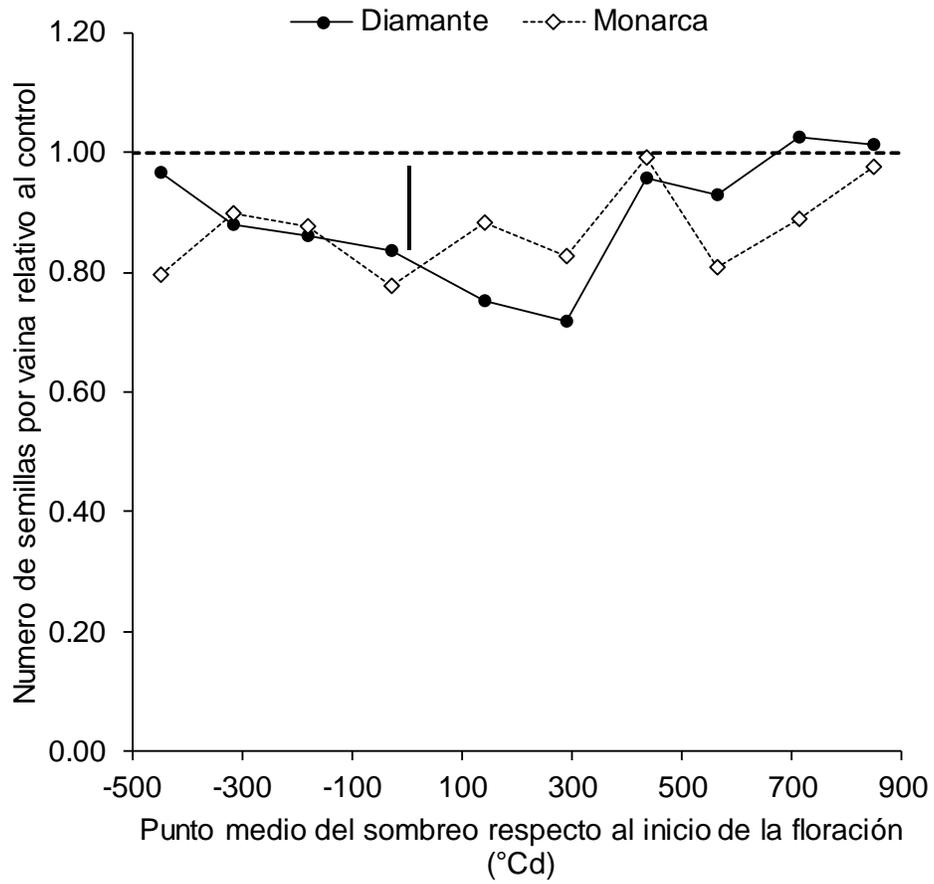


Figura 15. Relación entre el número de semillas por vaina relativo al control y el punto medio del tratamiento de sombreado desde el inicio de la floración en dos cultivares de haba en Toluca, México. La línea vertical dentro del grafico indica la DHS al 0.05 de Tukey.

## V DISCUSIÓN

Los cultivares de haba que se siembran en los Valles Altos del Centro de México son tolerantes al frío, soportando temperaturas de hasta  $-5^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, por debajo de estas pueden presentarse daños letales a la planta. Por otro lado, para la germinación requiere una temperatura media de  $6^{\circ}\text{C}$ , mientras que para la etapa de antesis requiere temperaturas medias entre  $17^{\circ}\text{C}$  y  $23^{\circ}\text{C}$ , las temperaturas superiores a los  $25^{\circ}\text{C}$  provocan aborto de flores. Con respecto a la disponibilidad de agua, el cultivo de haba es flexible a sequía, pero es muy susceptible al exceso de humedad, específicamente en suelos vertisoles. Se dice que el cultivo de haba requiere una precipitación entre 600 y 800 mm durante todo el ciclo del cultivo (Pérez y González, 2003, López, 2013). De acuerdo con lo anterior y con base en las condiciones agroclimáticas prevalecientes en la región, estos parámetros no fueron una limitante durante todo el desarrollo del cultivo. La especie *Vicia faba* L. tiene un desarrollo óptimo a altitudes que van de los 1800 a 2600 metros sobre el nivel del mar (López, 2013), lo cual indica que el cultivo se estableció dentro de un área geográfica propicia para el desarrollo de éste ya que el campo experimental donde se llevó a cabo el experimento se encuentra a 2611 msnm (SMN, 2000).

La interacción genotipo x tratamiento (sombreo) resultó altamente significativa ( $p < 0.01$ ), para la mayoría de las variables analizadas para los dos genotipos, por lo que el periodo crítico fue diferente para cada una de las variedades estudiadas. Se conoce que las dos variedades son de crecimiento indeterminado lo cual no limita los días a floración ni la cantidad de flores que pueden crecer en cada una de estas, aunque cabe señalar que las flores de estratos más superiores son más

susceptibles de abortar por competencia de asimilados con las primeras vainas que se formaron, a pesar que durante el tratamiento de sombreo se permitió la entrada y salida de polinizadores para evitar que los testigos estuvieran sobre estimados, sabiendo que el cultivo de haba se comporta como una planta parcialmente alógama (López, 2013).

El periodo crítico (periodo durante el cual las caídas en el rendimiento de grano por efecto del sombreo resultaron significativas) identificado para el cultivo de haba difirió en función del cultivar. Para Diamante dicho periodo abarcó desde  $-130^{\circ}\text{Cd}$  (10 días antes de la floración) y hasta  $336^{\circ}\text{Cd}$  (24 días después de la floración), con una duración total de  $443^{\circ}\text{Cd}$  (34 días). Durante este periodo, la reducción en el rendimiento de grano fue del 58% con respecto al control. Por otro lado, en Monarca el periodo crítico se presentó desde  $270^{\circ}\text{Cd}$  (20 días antes de la floración) y extendiéndose hasta  $170^{\circ}\text{Cd}$  (12 días después de la floración) con una duración total de  $443^{\circ}\text{Cd}$  (32 días) y reducciones de hasta 45% con respecto del control. Muchas evidencias señalan que el periodo crítico puede ser diferente entre genotipos y entre distintas especies en función de su estrategia para generar el rendimiento de grano en términos de sus componentes numéricos (Estrada *et. al*, 2008). Por otro lado, Egli y Bruening (2005) al usar dos tratamientos continuos de sombreo (60% y 90% a partir de floración hasta la madurez) en el cultivo de soya encontraron reducciones significativas en el número de vainas, el sombreo continuo, redujo la producción de vainas en los dos experimentos (un promedio de 24% para el 60% de sombra y 71% para el 90% de sombra). Mientras que Mwanamwenge *et al.* (1999), coinciden al afirmar que el rendimiento en el cultivo de haba puede

reducirse de manera significativa por efecto de estrés hídrico principalmente en el periodo que va desde la floración y hasta la aparición de vainas de las primeras vainas, en donde las reducciones pueden ser de hasta un 82%.

Por lo que respecta a los componentes numéricos del rendimiento de grano, se pudo observar que para el número de granos los dos genotipos tuvieron un comportamiento diferente, de tal forma que en el cultivar Monarca el número de granos por vaina se redujo 35%, mientras que para el cultivar Diamante la producción de granos se vio afectada un 38% con respecto al control, lo cual coincide con los resultados encontrados por Mwanamwenge *et al.* (1999), quienes encontraron una reducción significativa ( $P < 0.05$ ) en el número de granos por efecto de estrés hídrico antes y después del inicio de la floración. En este sentido, la variabilidad en el rendimiento de las leguminosas de grano está directamente relacionada con cambios en el número de semillas por unidad de superficie (Moot, 1997).

La caída en el rendimiento se puede explicar en función a los cambios observados en la producción de biomasa e índice de cosecha, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Confalone *et al.* (2013), quienes al estudiar el crecimiento en términos de captura de luz y el rendimiento de grano en haba (cv. Alameda) en diferentes fechas de siembra encontraron una estrecha relación entre la biomasa con el rendimiento de grano y que estos cambios estuvieron asociados a la captura de luz, dado que las fechas de siembra tempranas permitieron mayor intercepción de radiación solar comparadas con las siembras de primavera-verano. Por otro lado, Silim *et al.* (1993) establecieron una correlación positiva entre el rendimiento y la

materia seca total y así también con el índice de cosecha, mientras que observaron una correlación negativa con el número de vainas por m<sup>2</sup> y el número de semillas por vaina. Por otro lado, Nachi y Leguen. (1996) mostraron que el rendimiento de materia seca se relacionó fuertemente con el peso medio de las semillas y también encontraron que el peso seco del tallo principal afecta al número de semillas. Para el caso del número de vainas por plantas estos autores consideran la mayor fuente de variación en el rendimiento. En otro estudio conducido por Faiguenbaum (2003), se menciona que el número de ramas en haba presenta gran importancia en el rendimiento, ya que éstas pueden llegar a aportar entre un 70 y 80% a la producción de biomasa.

Los tratamientos de sombreado no afectaron de manera significativa al peso individual de grano a pesar de que la reducción en la radiación incidente fue del 80%. Cabe mencionar que el cultivar Monarca mostró una ligera compensación para los tratamientos post floración, lo cual coincide con Mwanamwenge *et al.* (1999) quienes al estudiar el efecto del estrés hídrico en haba encontraron la misma compensación en el peso de grano, en este mismo trabajo estos autores también observaron una reducción lineal entre la reducción de vainas con la disminución de semillas. En el presente trabajo se encontró la misma tendencia lineal entre la reducción de vainas y la reducción del número de semillas para ambos genotipos, cabe señalar, que en el cultivar Monarca existieron dos caídas, una de 30% a los -69°Cd (5 días antes de la floración), y otra de 28% a los 460°Cd (33 días después de la floración), mientras que para el cultivar Diamante se observó un comportamiento similar con una caída de 27% a los 11 días después del inicio de la

floración y una más severa de 43% a los 56°Cd (40 días después de la floración). Mwanamwenge *et al.* (1999) encontraron que las vainas menores a 2 cm son susceptibles a abortar cuando la disponibilidad de agua es reducida en este periodo, teniendo la pérdida más grande en número de vainas y por consecuencia un menor número de semillas por unidad de superficie. Faiguenbaum (2003), comenta que, para el caso de haba las ramas van produciendo vainas diferidas en el tiempo, por lo cual se presentan plantas desuniformes en términos de maduración de vainas. Por otro lado, a medida que la planta va creciendo y se van llenando los granos, las ramas se van alejando del eje central y finalmente terminan quebrándose debido al peso.

La relación entre el número de semillas por vaina en función de los tratamientos de sombreado mostró reducciones para el cultivar Monarca de 22% a los 3 días antes de la floración (-50°Cd), con una segunda caída de 19% a los 39 días después de la floración (550°Cd), para el cultivar Diamante estas reducciones fueron más significativas de 25 y 29 °Cd a los 9 y 20 días después de la floración respectivamente, esto concuerda con los resultados obtenidos por (Mwanamwenge, *et al.*, 1999) ya que en su estudio dos de sus tres cultivares tuvieron reducciones en el número de semillas durante la floración y postfloración.

Existen numerosas razones para estudiar el periodo crítico de los cultivos, así como la fisiología bajo estrés, en este sentido Tambusi (2004), menciona 3 beneficios de conocer estos momentos críticos de cualquier cultivo

- i) El conocimiento de los factores de estrés en los cultivos puede resultar crucial para la elaboración de modelos mecanísticos de naturaleza

predictiva (estudio de efectos en cambio climático),

ii) análisis de la interacción de las plantas con factores ambientales (comprender la distribución de las especies en diversos ecosistemas) y finalmente

iii) La predicción, ya que el rendimiento de los cultivos está fuertemente limitado por el impacto de factores ambientales. Lo anterior, permite generar modelos predictivos para rendimiento de cultivos en fechas de siembra específicas, cultivares estudiados para cualquier región global ayudando así al productor a no dejar a la suerte su inversión, no solo en este sentido es importante ya que para programas de mejoramiento genético tradicional y ahora para la biotecnología, es crucial conocer el potencial del rendimiento y su tolerancia a la interacción con estrés ambiental.

## VI CONCLUSIONES

En esta tesis se determinó el periodo crítico para la generación del rendimiento en el cultivo de haba, utilizando para ello reducción en los niveles de radiación incidente en diferentes momentos a lo largo del ciclo del cultivo.

El periodo crítico en Diamante abarcó desde  $-130^{\circ}\text{Cd}$  (10 días antes de la floración) y hasta  $336^{\circ}\text{Cd}$  (24 días después de la floración), con una duración total de  $443^{\circ}\text{Cd}$  (34 días). Para Monarca el periodo crítico se presentó desde  $270^{\circ}\text{Cd}$  (20 días antes de la floración) y extendiéndose hasta  $170^{\circ}\text{Cd}$  (12 días después de la floración) con una duración total de  $443^{\circ}\text{Cd}$  (32 días)

Los cambios en el rendimiento fueron explicados tanto por la biomasa como por el índice de cosecha. Sin embargo, la biomasa contribuyó en mayor medida a explicar los cambios en el rendimiento por efecto de los tratamientos de sombreo.

Los componentes del rendimiento más afectados por la reducción en la radiación fueron número de granos por unidad de superficie, el número de granos por vaina y número de vainas por planta. Sin embargo, la magnitud de los cambios en dichos componentes varió no fue la misma en los dos cultivares

Los resultados del presente trabajo resaltan la importancia del periodo alrededor de la floración para la determinación del rendimiento, lo cual será de mucha utilidad para mejorar las prácticas de manejo (fecha de siembra, densidad, fertilización, elección de genotipos) tendientes a incrementar los rendimientos por unidad de superficie en esta especie. Así mismo, serán de utilidad en programas de

mejoramiento genético que buscan incrementar el rendimiento potencial en este cultivo, a través de la selección de cultivares con el mismo ciclo ontogénico o hacia la obtención de genotipos con mayor número de flores productivas en los estratos inferiores, etc.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Aitken, Y., (1974). Flowering Time, Climate and Genotype. Melbourne University Press, Melbourne, 193 pp.
- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. (2008). Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. *Field Crops Research*, 107, 196-202.
- Batygina, T.B., and Vasilyeva, V.E. (2003). Periodization in the development of flowering plant reproductive structures: critical periods. *Acta Biológica Cracoviensia Series Botánica*, 45/1, 27-36pp.
- Cantagallo, J.E., Chimenti, C.A. & Hall, A.J. (1997). Number of Seeds per Unit Area in Sunflower Correlates Well with a Photothermal Quotient. *Crop science*, 37, 1780-1786.
- Confalone, A., Lizaso, I. J., Nogueira, B. R., López, C. F. X., and Sau, F. (2010). Growth, PAR use efficiency, and yield components of field-grown *Vicia faba* L. under different temperature and photoperiod regimes. *Field Crops Research*, volume 115, 140–148.
- Crepón, K., P. Marget, C. Peyronnet, B. Carrouée, P. Arese, and G. Duc. 2010. Nutritional value of faba Bean (*Vicia faba* L.) seed for feed and food. *Field Crops Research*. 115: 329-339.
- Cuadros, V.M. (1989). Efecto de la fecha de siembra sobre el cultivo del haba (*Vicia Faba* L.) en el municipio de Toluca, México. Tesis del Ing. Agr., F.C.A., UAEMex, Cerrillo piedras blancas.

- Cubero J. I. (2002) *Introducción a la Mejora Genética Vegetal*. Mundi-Prensa. Madrid, España. 565 p.
- Cubero, J.I. (1974). On the evolution of *Vicia faba* L. *Theor. Appl. Genet.*, 45: 47-51.
- Ellis, R.H., Summerfield, R.J., and Roberts, E.H. (1990). Flowering in Faba Bean: Genotypic Differences in Photoperiod Sensitivity, Similarities in Temperature Sensitivity, and Implications for Screening Germplasm. *Annals of Botany*, 65: 129- 138.
- Estrada, C. G., Miralles, J. D., Slafer, G. A. (2008). Yield determination in triticale as affected by radiation in different development phases. *European Journal of Agronomy*, Volume 28, 597-605.
- Faiguenbaum, H. (2003). Haba. In: *Labranza, Siembra y Producción de los principales cultivos en Chile*. Ediciones Vivaldi y Asociados, Santiago, Chile. 760 p.
- FAO, 2014. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Fischer, R.A. (1975). Yield potential in a dwarf spring wheat and the effect of shading. *Crop Science*, 15, 607-613.
- Fischer, R.A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 105, 447-461.

García E. (1988) modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen para adaptarlo a las condiciones climáticas de la república mexicana 4ª ed. Offset Larios, México

Gaucin D. (2016). Producción y consumo de legumbres. MAYO 14 2017, de EL ECONOMISTA Sitio web:  
<http://www.comfin.mx/sofomes/2016/junio/17/agro/17eleconomista02.pdf>

Gil-Gil, H., Martínez-Rueda, C. G., Estrada-Campuzano 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.

Graf, R.J., and, Rowland, G. G. (1987). Effect of plant density on yield and components of yield of Faba Bean. Canadian Journal of Plant Science, 67 (1), 1-10pp.

Jiang, H. & Egli, D.B. (1993). Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. Agronomy Journal, 85, 221-225.

Kiniry J.R. and Ritchie J.T. (1985) Shade sensitive interval of kernel number of maize. Agronomy Journal. 77:711-715.

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. (2013). Tecnología de producción del cultivo de haba para el Estado de México. Instituto de Investigación y capacitación Agrícola, Acuícola y Forestal del estado de México. México:

- Mahadevana, M., Calderinib, D.F., Zwera, P.K. & Sadrasa, V.O. (2016). The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). *Field Crops Research*, 199, 109-116.
- Martínez, C. J. (1999). Efectos de tres fechas de siembra sobre el rendimiento de semillas de diez genotipos de haba (*vicia faba* L.). Tesis de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, F.C.A., UAEMex, Cerillo Piedras Blancas.
- Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B*. 281: 227-294.
- Moot, D.J. (1997). Theoretical analysis of yield of field chicharo (*Pisum sativum* L.) crop using frequency distributions for individual plant performance. *Annals of Botany*, 79: 429-437
- Mwanamwenge, S.P. Loss 2, K.H.M. Siddique, P.S. Cocks. (1999). Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*, 2, 1-11pp.
- Nachi, N., and, Leguen, J. (1996). Dry matter accumulation and seed yield in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Agronomie*, 16: 47-59.
- Ortíz, C. J., Solórzano, V. E., y Mendoza, O. L.E. (1983). Comportamiento de caracteres agronómicos y fisiotécnicos de diez colecciones de haba (*Vicia faba* L.) bajo diferentes condiciones ambientales. *Agrociencia* 55: 101-114.
- Otegui M.E. Andrade F.H. (2000) New relationship between light interception ear growth and kernel set in maize CSSA especial publicación number 29:89-102

- Palaniswamy, U. R. and Palaniswamy, K. M. 2006. Handbook of statistics for teaching and research in plant and crop science. The Harworth Press, Inc., New York. 624 p.
- Pérez, L. D. J. y González, H. A. (2003). Cultivo y mejoramiento de haba. 1ª (Ed.). Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca, Estado de México. 101 p.
- Pérez, L.D.J., y González, H. A., Franco, M. O., Rubí, A.M., Ramírez, D. J., Castañeda, V. A., y Aquino, M. J. A. (2014). Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el Estado de México, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 No.2, 265-278.
- Quiroz, G. A., Estrada, A.E.J., Rodríguez, G. M. T., Sánchez, G. P., Sandoval, C. E. (2007). Biomasa, proteína, taninos Y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, vol. 25, núm. 2, 169-175 pp.
- Raina, S, N. and Ogihara, Y. (1995). Ribosomal DNA repeat unit polymorphism in 49 Vicia species. *Theor. Appl. Genet.*, 90:477-486.
- Roberts, E.H., and Summerfield, R.J. (1987). Measurement and prediction of flowering mannual crops. En: Atherton, J.G. Manipulation of flowering. Butterworths, London, p. 17-50.
- Rowlands, D. G. (1955). The problem of yield in field beans. *Agric. Prog.* 30: 137-147.

- Ruiz-Ramos, M., Minguez, M.I. (2006). A structural-functional model for faba-bean crops: morphological parametrisation and verification. *Annals of Botany*, 97: 377-388.
- Salem, S. A., Fathy, S., and El Nakhlawy, F. S. (1987). Effect of application of nitrogen and phosphorous fertilizer levels on seed yield, its components and other characters in Faba bean (*Vicia Fab L.*). *Alexandria Journal of Agriculture Research* 32:139-148.
- Savin, R. and Slafer, G.A. (1991). Shading effects on the yield of an Argentinean wheat cultivar. *Journal of Agricultural Science*, 116, 1-7.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2015). Consultado 09-11-2017 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). Consultado diciembre 2018 en <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>
- Servicio meteorológico nacional (SMN). (2000) consultado diciembre 2018 <http://smn.cna.gob.mx/es/>
- Silim, S.N., and Saxena, M.C. (1993). Yield and water use efficiency of faba bean sown at two row spacings and seed densities. *Expl. Agric.*, 29: 173-181.
- Slafer, G.A., Andrade, F.H. & Satorre, E.H. (1990). Genotypic improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain-yield. *Field Crops Research*, 23, 255-263.

Talal, T., and Ghalib, S. (2006). Effect of planting date on faba bean (*Vicia Faba L.*) Nodulation and performance under semiarid conditions. *World Journal of Agriculture Sciences*, 4, 477-482 pp.

Zadoks J.C., Chang T.T., and Konzak C.F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421

Zohary, D. and Hopf, M. (1973). Domestication of pulses in the old world. *Science*, 182: 887-894.