



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GENÉTICA**

## **CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA, NUTRIMENTAL Y MOLECULAR DE *Vicia faba L.***

**HILDEGARD BERENICE LIST MONTESINOS**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

**2014**

La presente tesis titulada **Caracterización agronómica, nutrimental y molecular en *Vicia faba* L.** realizada por la alumna **Hildegard Berenice List Montesinos** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

Dr. Serafín Cruz Izquierdo

ASESOR

Dra. Carmen Jacinto Hernández

ASESOR

Dr. Ricardo Lobato Ortiz

ASESOR

Dr. Ramón Díaz Ruiz

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2014

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y  
DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Hildegard Berenice List Montesinos, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Serafín Cruz Izquierdo, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Caracterización agronómica, nutrimental y molecular de Vicia faba L.

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución. El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 27 de Mayo de 2014



Firma



Dr. Serafín Cruz Izquierdo  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

## CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA, NUTRIMENTAL Y MOLECULAR EN *Vicia faba* L.

El haba es un cultivo de alto valor nutricional, es la tercer leguminosa consumida a nivel nacional, después del frijol y la lenteja, cultivándose principalmente en los estados de Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Estado de México y Michoacán. Sin embargo, el empleo de variedades criollas con baja producción y susceptibles a enfermedades ha propiciado la disminución de la superficie destinada a su cultivo. El objetivo de la investigación fue la caracterización agronómica, calidad culinaria, nutricional y molecular de tres colectas de *V. faba* L. (tipo *minor* y tipo *equina*) provenientes de localidades con diferente altitud ubicadas en Puebla y Oaxaca, con el fin de identificar líneas sobresalientes para iniciar un programa de mejoramiento genético. En la parte agronómica, con diferente fecha de siembra, se evaluaron los parámetros inicio de floración, inicio de formación de vaina, días a madurez, altura de planta, número de tallos, número de flores por inflorescencia, número de vainas y peso de semillas por planta en el ciclo primavera-verano 2012. Se seleccionaron 20 líneas de cada colecta con base en rendimiento y sanidad, que se evaluaron en el ciclo primavera-verano 2013 en Texcoco, Estado de México. A cada línea se le determinó la calidad culinaria, nutricional y molecular. El color de semilla y del caldo de cocción se midió con el sistema CIELAB. La calidad tecnológica se determinó de acuerdo con Guzmán *et al.* (1995). Se analizó el contenido de proteína y lípidos (AOAC, 2001), así como de taninos (Burns, 1971). Las semillas fueron claras, color mate con mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos, mientras que el caldo fue oscuro, apagado, de tonalidades verde-azul. El peso de 100 semillas osciló entre 91.91 g y 107.36 g, el porcentaje de testa entre 12.6 y 13.9 %. Ambos se correlacionaron negativamente ( $r=-0.619$ ,  $p<0.01$ ). La capacidad de absorción osciló entre 92 y 100 % del peso de la semilla, con un tiempo de cocción de entre 6.6 y 7.2 minutos y el % de sólidos en caldo entre 0.3 y 0.4 %. El contenido de proteína en la semilla osciló entre 32.57 y 33.90 %, los lípidos entre 2 y 3 % y los taninos entre 2.38 mg y 2.97 g EC / 100 g de muestra seca. El análisis molecular con marcadores tipo SSR mostró cinco agrupamientos. Sobresalen las líneas 'MON12-159', 'MON12-112', 'MON12-100' de *V. faba* tipo *minor* y 'MON12-51' de *V. faba* tipo *equina* debido a sus características agronómicas, de calidad, y nutricionales. De los 23 marcadores SSR ensayados: 12 fueron polimórficos, 4 no polimórficos y 7 no dieron bandas con buena resolución.

**Palabras clave:** *Vicia faba* tipo *minor*, *equina*, caracterización, formación de líneas.

## **AGRONOMICAL, NUTRITIONAL AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF *Vicia faba* L.**

Faba bean is a crop of high nutritional value, it is the third legume consumed in México, after beans and lentils. It is cultivated mainly in Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Mexico and Michoacán. However, the use of landraces with low yield and susceptible to diseases has led to decrease the area intended for its cultivation. The objective of this paper was to realize the agronomic, cooking quality, nutritional and molecular characterization in three collections of *V. faba* L. (*equine and minor*) from different altitude localities situated in Puebla and Oaxaca, in order to identify outstanding lines to start a breeding program. In the agricultural side, with different sowing dates, some parameters were evaluated such as days to flowering, days to fruit setting, days to maturity, plant height, number of stems, number of flowers per inflorescence, number of pods and seed weight per plant in the spring-summer 2012. 20 lines of each collection were selected based on performance and health, which were assessed in the spring-summer 2013 in Texcoco, State of Mexico. The cooking, nutrition and molecular quality was determined for each line. Seed color and cooking liquid color were measured by CIELAB system. Technological quality was determined according to Guzmán et al. (1995). Protein and fat content were analyzed (AOAC, 2001), as well as tannins (Burns, 1971). The seeds were light, matte with a higher proportion of red- yellow tones, while the broth was dark, dull, with blue-green tones. The 100-seed weight ranged from 91.91 g and 107.36 g, the percentage of testa between 12.6 and 13.9 %. Both were negatively correlated ( $r = -0.619$ ,  $p < 0.01$ ). The absorption capacity was between 92 and 100 % of the seeds's weight, with a cooking time between 6.6 and 7.2 minutes and the percentage of solids in broth between 0.3 and 0.4 %. The protein content in the seed was between 32.57 and 33.90%, the lipids between 2 and 3 % and the tannins between 2.38 mg and 2.97 g EC / 100 g of dry sample. Molecular analysis markers SSR showed five groupings. Protrude lines 'MON12 -159', 'MON12 -112', 'MON12 -100' of *V. faba minor* and 'MON12 - 51' of *V. faba equina* due to its agronomic, quality, and nutritional characteristics. Of the 23 SSR markers tested: 12 were polymorphic, 4 were non-polymorphic and 7 bands did not give good resolution.

**Keywords:** *Vicia faba minor*, *equina*, characterization, selection lines.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme el apoyo económico para llevar a cabo la investigación en el Colegio de Postgraduados.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme los recursos necesarios para realizar el proyecto e instruirme en sus aulas en esta nueva área y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el préstamo de sus instalaciones donde llevé a cabo los análisis de calidad y moleculares.

Agradezco también a mi consejo particular el tiempo dedicado a la revisión del trabajo, sus valiosas aportaciones y sugerencias.

Al Dr. Serafín Cruz Izquierdo por haber confiado en mí, permitiéndome incursionar en esta área, por otorgarme su valioso conocimiento y por guiarme a través de todo el trabajo de campo.

A la Dra. Carmen Jacinto Hernández por disposición y paciencia en mi aprendizaje en los procedimientos de laboratorio para cumplir con los objetivos de la investigación.

Al Dr. Ricardo Lobato Ortiz por su valiosa aportación y ayuda en momentos críticos del proyecto, por su impulso para lograr avanzar con los objetivos planteados.

Al Dr. Ramón Díaz Ruíz por sus valiosos comentarios y sugerencias que enriquecieron la información plasmada en esta tesis.

A la Mtra. María del Carmen Diez Galland por su valiosa colaboración en la revisión del resumen en inglés de la tesis y el artículo.

Finalmente doy gracias a los Doctores que con esmero en sus clases me hicieron cambiar el panorama que tenía de la agricultura en México, haciéndome ver que aún otro mundo es posible.

## DEDICATORIA

Dedico la presente investigación con mucho cariño a mi Familia, a mi mami *Nicol*, por apoyarme en mis decisiones en todo momento. A mis hermanas: *Rocío*, por su paciencia, entendimiento y apoyo en los momentos difíciles, y *Vanessa*, que junto a *Dimitry*, me apoyaron incondicionalmente en la obtención de los datos agronómicos. A mi sobrina *Hannia* que pese a su corta edad supo entender que a veces en la vida hay que tomar diferentes caminos, sin que nos olvidemos los unos de los otros y a *Sofía* que con su alegría me hace recordar los buenos momentos.

A mi abuelita *Celia*, que se acuerda de todos aún en la distancia y a los integrantes de la Familia Montesinos que con sus comentarios y ocurrencias hacen leve el trayecto de la vida. Gracias por acompañarme en el día a día, son ustedes un gran apoyo.

A *Carlos Arellano* que con su ayuda, paciencia, entrega, consejos y compañía ha hecho grato mi pasó por este Colegio. Gracias por su apoyo incondicional en los momentos difíciles de mayor tensión, que juntos hemos podido afrontar y salir adelante.

A *Magnolia Meléndez*, *Martin Aquino*, *Laura Arellano* y *Yerevan Arellano*, por su gran apoyo en la ardua labor de la cosecha y por su grata compañía.

Por último, dedico esta tesis a quienes me han acompañado en este viaje, *Geremias Rodríguez*, *Magdalena Campos*, *Lili Licea*, *Radai Aguilar*, *Erika Reyes*, *Regina Bouchan*, *Lervin Hernández*, *Nallely Rosas*, *Eliza Martínez*, *Aida Juárez*, *Enrique Canales*, *Edgar Nieto*, *Norma Santiago*, *Magdalena Cerón*, *Héctor Senties*, *Aurelio Morales*, *Alán Hernández*, *Fanny Hernández*, *Viridiana Trejo*, *Lucio Leos*, *Wendy*, *Liliana Serrano* y *Eric Badillo* sus palabras y apoyo me han dado ánimos para seguir adelante.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
OBJETIVOS .....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos .....	2
HIPÓTESIS .....	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1.1 Mejoramiento genético .....	3
1.2 Caracterización de germoplasma.....	4
1.3 Generalidades del Haba.....	5
1.3.1 Taxonomía y Morfología.....	7
1.3.2 Diversidad de la especie .....	9
3.2 .....	
1.3.5 Época de siembra del cultivo .....	12
1.3.6 Método de siembra y densidad del cultivo. ....	12
1.3.7 Estado actual del haba en México.....	13
1.3.8 Estimación del consumo per cápita del haba .....	134
1.4 Literatura citada.....	166
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA .....	21
2.1 Introducción.....	21
2.2 Materiales y métodos .....	23
2.3 Resultados y discusión.....	27
2.3.1 Elementos del clima .....	27
2.3.2 Efecto de la fecha de siembra.....	29
2.3.3 Parámetros agronómicos .....	33
2.3.4 Resultados y discusión en conjunto de parámetros agronómicos .....	46
2.4 Conclusiones.....	51
2.5 Literatura citada.....	52
CAPÍTULO 3. CALIDAD EN LA SEMILLA Y CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL.....	58
3.1 Introducción.....	58
3.1.1 Calidad de la semilla .....	59
3.1.2 Caracterización nutrimental.....	61
3.2 Materiales y métodos .....	65

3.2.1 Características de calidad .....	65
3.2.2 Caracterización nutrimental.....	68
3.3 Resultados y discusión.....	73
3.3.1 Características de calidad .....	73
3.3.2 Caracterización nutrimental.....	89
3.3.3 Análisis de Correlación.....	93
3.3.4 Análisis de Componentes Principales .....	96
3.4 Conclusiones.....	98
3.5 Literatura citada.....	99
CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR.....	107
4.1 Introducción.....	107
4.2 Materiales y métodos .....	109
4.2.1 Extracción de ADN .....	110
4.2.2 Cuantificación de ADN .....	111
4.2.3 Marcadores moleculares .....	112
4.3 Resultados y discusión.....	114
4.4 Conclusiones.....	118
4.5 Literatura citada.....	119
ANEXOS .....	121
I. Consumo per cápita .....	107
II. Datos meteorológicos.....	109

\*

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Origen y distribución del haba en el mundo.....	6
Figura 2	Haba en etapa de floración y fructificación.....	8
Figura 3	Variedades botánicas de la semilla del haba.....	9
Figura 4	Ubicación geográfica de los sitios de recolección de las colectas.....	23
Figura 5	Diagrama de obtención de las poblaciones.....	24
Figura 6	Condiciones ambientales presentes en el ciclo Primavera-Verano 2012.....	28
Figura 7	Condiciones ambientales presentes en el ciclo Primavera-Verano 2013.....	28
Figura 8	Estructura química de los taninos condensados e hidrolizables.....	63
Figura 9	Diagrama cromático CIE L*a*b*.....	66
Figura 10	Reacción de vainillina con los flavonoides.....	71
Figura 11	Cinética de absorción en tres colectas de <i>Vicia faba</i> sembradas en el ciclo Primavera-Verano 2012.....	80
Figura 12	Distribución de colectas y testigos en función de los componentes principales.....	96
Figura 13	Dendrograma molecular con base en seis marcadores SSR analizados en 3 colectas de <i>V. faba</i> .....	117

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Características y origen de las colectas analizadas.....	23
Cuadro 2	Parámetros fenológicos evaluados durante los ciclos primavera-verano 2012 y 2013.....	30
Cuadro 3	Parámetros morfológicos evaluados durante los ciclos primavera-verano 2012 y 2013.....	32
Cuadro 4	Parámetros relacionados con el rendimiento evaluados en los ciclos primavera-verano 2012 y 2013.....	43
Cuadro 5	Análisis de GLM de caracteres de domesticación.....	47
Cuadro 6	Coefficientes de correlación de Pearson en el ciclo primavera-verano 2012.....	48
Cuadro 7	Coefficientes de correlación de Pearson en el ciclo primavera-verano 2013.....	49
Cuadro 8	Características y origen de las colectas analizadas.....	65
Cuadro 8	Preparación de la curva tipo de catequina.....	71
Cuadro 10	Color en la semilla de tres colectas de <i>Vicia faba</i> . Variables L*, a*, b*, croma y hue°.....	74
Cuadro 11	Calidad tecnológica de tres colectas de <i>Vicia faba</i> y los testigos botánicos.....	77
Cuadro 12	Color de caldo de cocción en tres colectas de <i>Vicia faba</i> . Variables L*, a*, b*, croma y hue°.....	86
Cuadro 13	Calidad nutrimental de tres colectas de <i>Vicia faba</i> y los testigos botánicos.....	89
Cuadro 14	Características y origen de las colectas analizadas.....	109
Cuadro 15	Secuencia de los microsátélites analizados.....	113
Cuadro 16	Condiciones del ciclo de PCR.....	114

Cuadro 17	Consumo per cápita de las leguminosas en el mundo de acuerdo con la FAO .....	121
Cuadro 18	Consumo per cápita de las leguminosas en México de acuerdo con la FAO .....	122
Cuadro 19	Importaciones y Exportaciones en México de acuerdo con el SIAP.....	122
Cuadro 20	Consumo per cápita de las leguminosas en México de acuerdo con el SIAP .....	123
Cuadro 21	Consumo de las leguminosas en los hogares De México en base al gasto diario. ENIGH, 2012.....	123

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Dentro de la familia de las leguminosas, el haba (*Vicia faba* L.) ocupa el quinto lugar de consumo por la población mundial, después del frijol (*Phaseolus vulgaris*), el chícharo (*Pisum sativum* L.), el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y la lenteja (*Lens culinaris* L.) (FAOSTAT, 2011). Debido a su alto aporte proteínico, al combinarse adecuadamente con las gramíneas, complementa la dieta de aminoácidos mínima necesaria para el organismo.

En México en el 2012 se obtuvieron 89,593 t entre haba verde y haba de grano. Se siembra predominantemente en las entidades federativas de Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Estado de México y Michoacán (SIAP, 2012). Sin embargo, la superficie destinada para su cultivo ha disminuido paulatinamente ya que pasó de 43,271.6 ha en el periodo 1980-1984 hasta 32,363.75 ha en el periodo 2006-2010 (SIAP, 2012) debido al empleo por los agricultores de variedades criollas con baja producción, susceptibles a diversas enfermedades, además de un manejo agronómico inadecuado y la escasa tecnificación del cultivo (López, 2010) motivo que ha originado que se siembre principalmente para autoconsumo (Pérez *et al.*, 2003; Orozco *et al.*, 2013).

*Vicia faba* es un cultivo noble que presenta diversas cualidades que lo hacen rentable, se adapta sin dificultad a diversas regiones climáticas, para su desarrollo prefiere un clima moderadamente frío y seco (Guerrero, 2012). Es una planta tolerante a las heladas que soporta temperaturas de hasta 2 °C. Requiere entre 12 y 18 °C para un adecuado desarrollo y formación de fruto (vaina). Además de ser capaz de crecer en diferentes tipos de suelo con un pH que va de 5.5 a 8.5, con un porcentaje de materia orgánica adecuado, de textura media, ricos en calcio y con alto contenido de fósforo (Ruíz *et al.*, 1999). Aunado al hecho de que es posible sembrarla en dos ciclos al año: (1) primavera-verano y (2) otoño-invierno.

En nuestro país existe un número limitado de programas de mejoramiento de esta especie, razón por la cual se requiere realizar más investigación al respecto. En el presente estudio se realizó la caracterización agronómica, nutrimental y molecular de germoplasma sobresaliente derivado por selección de tres colectas de haba que serán utilizados para de iniciar un programa de mejoramiento genético.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Realizar la caracterización agronómica, nutrimental y molecular de tres colectas de *Vicia faba* de los estados productores de Puebla y Oaxaca, previamente seleccionadas por ser genotipos sobresalientes, con el fin de determinar la diversidad genética para iniciar un programa de mejoramiento.

### **Objetivos específicos**

Evaluar el efecto de la fecha de siembra sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo, así como evaluar los parámetros agronómicos en los ciclos primavera-verano 2012 y primavera-verano 2013.

Realizar la caracterización nutrimental y de calidad culinaria de las tres colectas mediante pruebas de laboratorio.

Amplificar el ADN de las colectas con 23 marcadores tipo microsatélite e identificar las secuencias que detectan polimorfismo. Caracterizar las colectas con al menos seis marcadores moleculares.

Estimar las relaciones genéticas entre las colectas.

Determinar la variabilidad morfológica, culinaria y molecular existente entre las colectas.

## **HIPÓTESIS**

Dado que el germoplasma pertenece a dos variedades botánicas de diferente origen, existe variabilidad entre las colectas que permitirá identificar las mejores líneas con base a parámetros agronómicos, nutrimentales y moleculares.

La siembra de cultivo en fechas diferentes presenta variaciones en los parámetros fenológicos, morfológicos y los relacionados con el rendimiento.

## CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1.1 Mejoramiento genético

Para iniciar un programa de mejoramiento es necesario conocer la variabilidad existente en una población, mediante su manejo será posible obtener material mejorado. El objetivo principal es incrementar el rendimiento y la calidad de los cultivos, basados en las necesidades del agricultor y el consumidor final, para obtener nuevas variedades o híbridos de alto potencial (Sotolongo *et al.*, 2012).

El mejoramiento genético convencional está basado en los principios de Mendel (Gardner *et al.*, 2007), por lo que a través de ciclos de selección recurrente y cruzamiento de los individuos con las mejores características, es posible predecir el resultado esperado de la progenie. Sin embargo, en el caso de las plantas, este proceso requiere de una gran cantidad de individuos para trabajar con una muestra representativa de la población, por lo que se necesita de una superficie amplia para su cultivo, una gran cantidad de recursos, así como de tiempo suficiente para obtener la descendencia a evaluar.

Las poblaciones nativas constituyen la población inicial de los programas de mejoramiento, de las cuales se debe conocer y mantener la variación o diversidad genética, sobre la cual se basa el avance en las siguientes generaciones del programa. Si esta no existe debe crearse de manera artificial mediante técnicas de mejoramiento genético, tales como: hibridación, mutación, inducción de poliploidía o ingeniería genética (Sotolongo *et al.*, 2012). Sin embargo, la variación comúnmente empleada es la que existe entre poblaciones de diferente procedencia (interpoblacional) y entre individuos dentro de una población (intrapoblacional), la cual es caracterizada directamente en campo

Para llevar a cabo el mejoramiento genético se debe conocer y controlar el sistema de reproducción de la especie (autofecundación y polinización cruzada). *Vicia faba* L. es considerada como una planta parcialmente alógama aunque algunas variedades son totalmente autógamas, como el tipo *paucijuga*, debido a

que se poliniza antes de que la flor se abra, proceso conocido como cleistogamia (Cubero, 1974). La estimación del cruzamiento natural en haba ha fluctuado de 2 a 84 % con una media de 32 % (Bond *et al.*, 1983). Por lo general, la manipulación y control en leguminosas inicia al evitar la autofecundación mediante la emasculación, es decir, la eliminación de las anteras de las plantas femeninas antes de que maduren, posteriormente se realiza la polinización manual trasladando el polen viable, a los estigmas receptivos seleccionados. Las flores se protegen del exterior cubriéndolas con papel encerado y se espera a la obtención de la semilla para determinar su recombinación, segregación y posterior selección (Bond *et al.*, 1980; IICA-BID-PROCIANDINO, 1989).

De acuerdo con Duc (1997) y Huyghe (1998), el mejoramiento genético dirigido al aumento y estabilidad del rendimiento debe enfocarse en la adaptación de la planta a las condiciones climáticas del área de producción, su resistencia a estreses bióticos, a las heladas y una baja susceptibilidad a la sequía en época de floración, así como la reducción de la proporción de la vaina frente al grano y menor sensibilidad al fotoperiodo. Con respecto a la semilla, el mejoramiento debe direccionarse al tamaño, composición proteínica y presencia de factores antifisiológicos, trabajos dirigidos en este rubro se han llevado a cabo en haba con una producción de 5000 Kg.ha<sup>-1</sup> (Duc, 1997)

## **1.2 Caracterización de germoplasma**

Para llevar a cabo el mejoramiento genético es indispensable contar con información sobre la caracterización y evaluación de los materiales. Se entiende por **caracterización** a la descripción y registro de la variación existente en un germoplasma en cuanto a caracteres morfológicos, citogenéticos, bioquímicos y moleculares, cuya expresión es poco influenciada por el ambiente; mientras que la **evaluación** comprende la descripción y registro de atributos agronómicos con alta influencia del ambiente, que son de tipo cuantitativo cuya expresión está determinada por poligenes. Lo cual se lleva a cabo a través de los **descriptores** que son los caracteres empleados para describir un material, en el caso del haba

se encuentran enlistados en su pasaporte realizado por el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos y el Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas (IBPGR e ICARDA, 1985).

El estudio y análisis de la caracterización y evaluación permite definir la estrategia de mejora de la especie, ya que incluye la selección de variedades con características adecuadas y su posterior hibridación para lograr nuevos materiales con mayor rendimiento y calidad (Bermejo *et al.*, 2008).b

### **1.3 Generalidades del Haba**

Los primeros restos arqueológicos de *Vicia narbonensis* fueron hallados en el Cercano Oriente (Mediterráneo), son de niveles más tardíos que los primeros vegetales cultivados. Posteriormente, se hallaron yacimientos de *Vicia faba* tipo *minor* en el delta del Ebro, El Garcel y Campos en la Península Ibérica, donde se considera se llevó a cabo su domesticación a partir de poblaciones autóctonas de *V. narbonensis* (Vila, 1991).

Se sabe del consumo del haba por los antiguos Griegos, quienes lo asociaron con la fertilidad y la muerte. El haba aparece mencionada por primera vez en la Ilíada de Homero. Su consumo fue prohibido dada su relación con los difuntos ya que se creía que a través de sus 'tallos sin nudo' los muertos ascendían hacia su evolución. Por su parte, los Pitagóricos la tomaban como impura debido a su similitud con la forma de un embrión y porque consideraban que dentro de ellas se encontraban las almas de los muertos (García, 2003).

Así mismo, el haba ha sido consumida por los egipcios desde la era de los faraones, quienes consideraban a los campos de cultivo como el 'Ka', sitio donde los muertos esperaban para reencarnar. Actualmente se emplea en la elaboración del plato nacional egipcio, el *Falafel*, una croqueta frita elaborada a base de haba, que en todo el Medio Oriente se elabora con garbanzo (*Cicer arietinum* L.).

Su cultivo abundó durante el Imperio Romano quienes la usaban como forraje para el ganado y en épocas de hambruna se le mezclaba con harina de trigo

(*Triticum aestivum*) para hacer pan, formó parte de la dieta de los gladiadores. Los romanos fueron quienes seleccionaron a las habas verdes para consumo humano, así como el tamaño de grano grande y aplanado, dando a conocer su cultivo a través de la Ruta de la seda hasta China (Mateos, 2008), mientras que los celtas lo extendieron hacia Europa y los españoles a América (Duc *et al.*, 2010), ver Figura 1.



**Figura 1.** Origen y distribución del haba en el mundo. Elaboración propia con datos de Cubero, 1984; Duc, 1997 y Duc *et al.*, 2010.

En México, el haba es una leguminosa de importancia tradicional, se consume en fresco o en seco por la población, aporta principalmente proteínas (25 %), carbohidratos, fósforo, hierro, tiamina y rivotflavina. Las habas frescas se usan en la preparación de tamales, ensaladas, habas en escabeche, tostadas o como botana; mientras que con la semilla seca se preparan harinas, pinole, sopa, tortitas, frituras o los tradicionales tlacoyos (ICAMEX, 2004); los guisos elaborados con esta leguminosa varían de una región a otra.

El follaje y la semilla seca son empleados como alimento para el ganado o como abono verde al incorporar la planta al suelo durante su ciclo de desarrollo en

floración o una vez finalizada su cosecha, ya que genera un volumen considerable de biomasa con alto contenido de nitrógeno, cuyo rango varía de 45 a 552 Kg de Nitrógeno ha<sup>-1</sup>, que funciona como mejorador del suelo (ICAMEX, 2004). Los esquilmos y residuos frescos se usan como complemento para la alimentación pecuaria (López, 2006).

Las hojas y flores del haba, en medicina tradicional, se considera tienen efecto antidiurético y antirreumático en el organismo (López, 2006).

### 1.3.1 Taxonomía y Morfología

La familia de las leguminosas es un grupo amplio de plantas con flor caracterizado por producir sus semillas dentro de una vaina, se encuentra subdividida en tres subfamilias: la *Caesalpinoideae*, *Mimosoideae* y *Papilionoidea* o *Fabaceae*. A esta última pertenece *Vicia faba* (Lewis et al., 2003).

*Vicia faba* es una planta anual de hábito indeterminado. Presenta un sistema radicular profundo tipo pivotante, capaz de formar nódulos que pueden asociarse con *Rhizobium leguminosarum* para fijar nitrógeno atmosférico. Su tallo (Figura 2) es rígido, fuerte y erecto, de coloración verde o con pigmentación antocianica, con altura de 0.5 a 2.0 metros, que se ramifica en sus axilas de cotiledones y nudos. Las hojas son compuestas pinadas, ubicadas en forma alterna en el tallo, los folíolos son anchos, pueden ser pequeños, medianos o grandes (ICAMEX, 2004).

Su flor (Figura 2) es hermafrodita, se presenta en forma de racimo que se desarrollan en las axilas de las hojas, cada inflorescencia puede tener entre 1 y 8 flores. El cáliz es campanulado, oblicuo con cinco sépalos pequeños, la corola es dialipétala con cinco pétalos que forman el estandarte, las alas y la quilla. El estandarte puede presentar diversas coloraciones tales como blanco, violeta, rosa, amarillo, café claro u oscuro. El fruto (Figura 2) es una vaina gruesa, carnosa, alargada, mide entre 5 y 40 cm de longitud, con forma subcilíndrica, recta o curveada, que presenta dehiscencia. La semilla es oblonga con diversas

tonalidades, su longitud es de 0.5 a 3.0 cm, con un peso que varía de 0.5 a 2.6 g. Es una especie diploide con seis pares de cromosomas ( $2n = 12$ ) (Duc, 1997; Pérez, 2003; ICAMEX, 2007).

En cuanto a su etapa reproductiva, inicialmente florece y fructifica el primer tercio inferior, conocido como flores y vainas bajas, en seguida florece y fructifica el segundo tercio, que es el más importante y significativo para la producción; es aquí donde se encuentran las vainas más grandes, finalmente lo hace el tercio superior y las vainas generalmente quedan pequeñas o en algunos casos vanas (Uwe, 2001; Anangono, 2006).

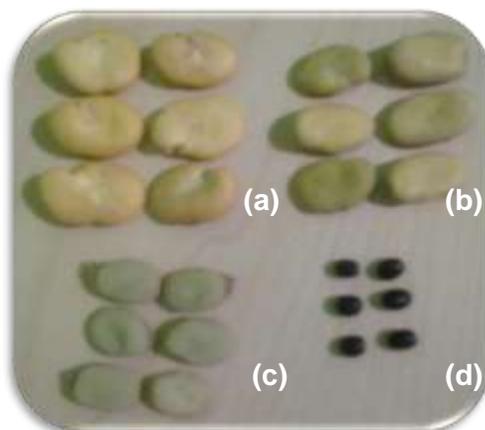


**Figura 2.** Haba en etapa de floración y fructificación, pueden observarse sus tallos, hojas alternas, flores y vainas

### 1.3.2 Diversidad de la especie

Cubero (1984) indica la clasificación hecha por Muratova (1931) que considera cuatro variedades botánicas del haba (ver Figura 4):

- ✓ ***Vicia faba mayor***. El tamaño de la semilla es de mediano a grande, con un peso por semilla de 1.0 a 2.5 gramos, la altura de la planta se encuentra en el rango de 1.0 a 2.5 metros de acuerdo a las condiciones ambientales. Se distribuye en el Mediterráneo Sur, China y Latinoamérica, es empleada para consumo humano.
- ✓ ***Vicia faba minor***. Las semillas son pequeñas con forma helipsoidal, el peso por semilla es menor a 1.0 gramo, la forma de la vaina es cilíndrica y presenta de 3 a 5 semillas. Se localiza en Etiopía y al norte de Europa, debido a su alto contenido de proteína, se emplea en alimentación animal.
- ✓ ***Vicia faba equina***. Las semillas son pequeñas y aplanadas, las vainas tienen de 3 a 4 semillas. Se cultiva al norte de África y en Egipto, donde se utiliza para la alimentación del ganado.
- ✓ ***Vicia faba paucijuga***. La semilla es pequeña, pesa 0.25 gramos. Es una subespecie silvestre que presenta pocos foliolos por hoja, muchos tallos cortos y vainas indehiscentes. Se distribuye desde la India hasta Afganistán, considerada el ancestro de *Vicia faba*.



**Figura 3.** Semilla de haba. (a) *Vicia faba mayor*, (b) *V. faba equina*, (c) *V. faba minor* y (d) *V. faba paucijuga*

### 1.3.3 Variedades presentes en México

A pesar de que Cubero (1974) sólo había indicado dos grupos botánicos de haba en México: *mayor* y *equina*, actualmente se sabe de la presencia de la variedad *minor* dentro la diversidad existente en el Valle Serdán en Puebla (López, 2011). En esta zona los agricultores siembran las variedades 'Parraleña', 'Morada', 'Terragona' (*V. faba* tipo *mayor*) y 'Cochinera' (*V. faba* tipo *equina*) que presentan los colores de testa amarillo, blanco, beige, roja, parraleño (moteado) y morado, encontrándose en mayor proporción los tipos 'Terragona amarilla' (39.2 %) y 'Cochinera amarilla' (33.7 %) debido a su mejor comercialización en la zona, y en baja proporción el tipo 'Cochinera morada'. Cabe señalar que el haba 'Terragona' se desarrolla favorablemente en altitudes entre 2400 y 2600 msnm, mientras que el haba 'Cochinera' entre los 2800 a 3000 msnm (Tornero *et al.*, 1993; Díaz *et al.*, 2000; Díaz *et al.*, 2006).

En el estado de Tlaxcala las variedades criollas presentes son 'ITA-29', 'Xocoyucan', 'Tezoquipan', 'Tepeyanco', 'Tepetitla', 'Tolica', 'Mixteca', 'Texcocana', 'Atoyac', 'Poblana', 'Tlacotepec' y 'Popocatépetl' (Crispín, 1978; Peña 2011), mientras que para la zona de Valles Altos de la Mesa Central Crispín *et al.* (1978) recomendó las variedades 'Mixteca', 'Tlachichuca', 'Tlacotepec', 'Amozoc', 'Poblana', 'Popocatépetl', 'Atoyac', 'Santa Ana', 'Huamantla', 'Malinche', 'Texcocana' y 'Toluca' como las más aptas.

En el Valle de México se siembran las variedades mejoradas 'San Pedro Tlaltizapan', 'ICAMEX-V-35', 'ICAMEX-V-31', 'Diamante', 'Monarca' y 'San Isidro' registradas en el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2014) y las variedades criollas 'Tlachichuca', 'Malinche', 'Santa Ana', 'Amozoc', 'Mixteca', 'Tlacotepec', 'Poblana', 'Popocatépetl', 'Atoyac', 'Huamantla', 'Texcocana', 'Toluca' y; ICAMEX, 2007; Crispín *et al.*, 1978), además se ha colectado material nativo en la zona del Valle de Toluca-Atlatomulco cuya evaluación a permitido seleccionar material sobresaliente (Pérez *et al.*, 2003; Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014).

En los estados de Hidalgo, Morelos, el Distrito Federal y en las zonas altas de los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas se siembran variedades criollas, cuyas características varían de acuerdo a las condiciones ambientales, la fecha de siembra y el manejo del cultivo (Pérez *et al.*, 2003; ICAMEX, 2007; López, 2011). Las variedades mejoradas se empiezan a utilizar en Morelos, el Estado de México y Puebla, con ello los productores han podido apreciar la mejora del rendimiento del cultivo (ICAMEX, 2007).

#### **1.3.4 Requerimientos climáticos del cultivo**

El haba presenta diversas cualidades que la hacen un cultivo viable en regiones con factores ambientales limitantes. Se adapta sin problemas a altitudes de 3600 m en climas que van desde los moderadamente fríos y secos, hasta los templados y húmedos. Es una planta resistente a las heladas (2 °C) que soporta cambios bruscos de temperatura, excepto en la época de floración donde las temperaturas bajas o superiores a 30 °C causan la caída de las flores, mientras que en zonas muy cálidas y húmedas presenta esterilidad. Durante su desarrollo requiere temperaturas variables: germina a 6 °C, en la época de floración su temperatura debe oscilar entre 10 y 12 °C, mientras que para una buena fructificación y llenado de grano necesita entre los 12 y 18 °C (Ruíz *et al.*, 1999; Duc *et al.*, 2010, Pichardo, 2010).

*Vicia faba* es demandante de agua en las etapas de floración y llenado de vaina, requiere entre 300 y 400 mm de precipitación mínimos para asegurar su producción. Además de que puede cultivarse en diferentes tipos de suelo de textura media como los suelos francos, franco-arenosos y franco-arcillosos con alto contenido de calcio y fósforo, es relativamente tolerante a la salinidad, sobrevive en suelos con pH que van de 5.0 a 7.2, con un adecuado contenido de materia orgánica (Pichardo, 2010).

El haba requiere condiciones frescas para su óptimo desarrollo por lo que suele sembrarse en dos ciclos durante el año: en primavera en latitudes septentrionales y en otoño/invierno en zonas templadas y subtropicales (Duc, 1997). La época de

siembra en los Valles Altos está determinada por el establecimiento de la temporada de lluvias. La fecha de siembra varía desde marzo hasta mayo dependiendo de la región, en Veracruz se le siembra desde marzo, en Tlaxcala a partir del 15 de abril hasta mayo, mientras que en el Valle de México se siembra en mayo y a veces en el ciclo otoño-invierno (Crispín, 1978).

### **1.3.5 Época de siembra del cultivo**

La fecha de siembra varía dependiendo de la región, en Llanos Serdán, Puebla el primer ciclo se siembra entre el 1° de febrero y el 15 de abril bajo condiciones de humedad residual, riego y temporal, en Veracruz se siembra en marzo, en el Valle de Toluca, Estado de México entre el 1° de marzo y el 15 de abril en condiciones de humedad residual y temporal, en Morelos desde marzo hasta mayo bajo condiciones de humedad residual, riego, punta de riego y temporal, mientras que en Tlaxcala se siembra a partir del 15 de abril hasta mayo bajo humedad de riego, residual y temporal. Un ciclo intermedio verano-otoño se siembra en el Estado de México de mayo a agosto bajo condiciones de temporal. Mientras que en el ciclo otoño-invierno la siembra se realiza en Morelos entre octubre y noviembre bajo condiciones de riego, en la zona del Bajío, Guanajuato en el mes de noviembre, en Puebla entre octubre y diciembre, en Valle de Bravo, Estado de México del 15 de diciembre al 15 de febrero bajo condiciones de temporal, además de sembrarse en Hidalgo, Tlaxcala y el Distrito Federal bajo condiciones de humedad residual y riego (Crispín, 1978; Pérez, 2003; ICAMEX, 2007).

### **1.3.6 Método de siembra y densidad del cultivo**

Puede sembrarse sola o intercalada con otro cultivo como maíz (*Zea mays* L.) o frutales. En el caso de haba sola, la densidad de siembra es variable y esta cambia en función de la variedad, el tamaño de la semilla y las características del suelo. Generalmente, la dosis de siembra es de 45 a 50 kg de semilla por hectárea, se deja 50 cm entre planta y planta, y 80 cm entre surco y surco con una densidad de 50,000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las técnicas de siembra son “a golpe”, “a pala”, “a tapa pie” y con sembradora mecánica; una de las más empleadas es “el

golpe” dejando 2 semillas a una profundidad de 5 cm. El sembrar a mayor densidad de la recomendada eleva el costo del cultivo y establece una mayor competencia entre plantas, por el contrario, una siembra menos densa desaprovecha el potencial de producción al aportar bajos rendimientos (Crispín *et al.*, 1978; Rojas *et al.*, 2012).

### **1.3.7 Estado actual del haba en México**

En 2010, a nivel mundial, México ocupó el treceavo lugar con una producción de 20,485 toneladas en haba de grano (FAOSTAT, 2010). Mientras que en 2012 se obtuvieron 89,593 t entre haba verde y haba de grano. Específicamente en haba verde se obtuvieron 66,521 t, se destinó una superficie de 11,157 ha de 11 estados de la República, las mayores producciones se concentran en las entidades federativas: Estado de México, Puebla, Tlaxcala y Michoacán, que obtuvieron 32,839 t, 18,678 t, 6,609 t y 6,204 t, respectivamente. El Estado de México fue el que destinó mayor superficie de siembra con 5,598 ha en ese año. Los rendimientos en haba verde oscilaron entre 6.94 y 4.76 ton ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2012).

Con respecto al haba de grano, está es característica de la región denominada “Valles Altos”, situada en los estados de Puebla, Estado de México, Tlaxcala, Michoacán y Veracruz, cultivándose bajo condiciones de riego y temporal. En el año 2012 Puebla, Veracruz y Tlaxcala fueron los tres estados que obtuvieron la mayor producción, con 15,884 t, 3,422 t y 2,107 t, respectivamente. Fue Puebla el que presentó un mejor rendimiento con 1.01 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2012).

Los agricultores comercializan el haba verde directamente en la central de abasto, los mercados locales, regionales y las recauderías. Los agricultores del Estado de México destinan su producción principalmente a las centrales de abasto del Distrito Federal y Toluca, los de Puebla la dirigen a los mercados regionales, mientras que los productores del Distrito Federal, Tlaxcala, Morelos e Hidalgo la comercializan en mercados locales. En menor proporción se da también la venta a compradores en la zona de producción y foráneos. La producción de haba de

grano seco en el Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Morelos y el Distrito Federal tiene tres fines, se destina para la venta, para la obtención de semilla y para autoconsumo (López, 2010).

En 2009 se estimó que en México había 10 500 agricultores de bajos recursos dedicados a este cultivo (López, 2010), quienes emplean variedades criollas de baja producción susceptibles a virosis, a enfermedades foliares como roya (*Uromyces fabae*), antracnosis (*Ascochyta fabae*), mancha chocolate (*Botrytis fabae*), mancha café (*Pleiochaeta setosa*) o cenicilla; a enfermedades radiculares causadas por *Fusarium sp.*, *Rhizoctonia sp.* o *Phytophthora sp.* y a plagas como el frailecillo (*Macrodactylus mexicanus*), el pulgón (*Aphis spp.*), los trips (*Thrips spp.*) o la gallina ciega (*Phyllophaga spp.*) (Bascur, 1993, López, 2010). Que aunado al uso de un sistema de producción tradicional con un manejo inadecuado del cultivo en aspectos básicos como densidad de plantas, dosis de semillas, sistemas de siembra, época de siembra, control de la maleza, fertilización, uso de inoculantes, entre otros, son un gran limitante en su producción (Bascur, 1993) lo que ha traído como consecuencia el abandono del cultivo y el cambio en el uso de la tierra por cultivos más rentables.

### **1.3.8 Estimación del consumo per cápita de haba**

Dentro de las leguminosas consumidas en el mundo, el haba ocupa el quinto lugar con 0.58 Kg/año. El frijol es el más importante con 3.31 Kg/año, seguida del chícharo que se consume en seco (1.33 Kg/año) y en verde (2.49 Kg/año), el garbanzo con 1.82 Kg/año y la lenteja con 0.63 Kg/año (FAOSTAT, 2011).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en 2011 se produjeron 9'785,000 Kg de haba en México, de los cuales 42 % se fue para exportación a los Estados Unidos, mientras que llegaron 349,000 Kg de China y Australia. El consumo per cápita del haba fue de 0.12 Kg/año, por lo que se ubicó en quinto lugar entre las leguminosa consumidas en nuestro país. La leguminosa de mayor consumo en México fue el frijol con 5.49 Kg/año en seco y 0.31 Kg /año en verde, seguida de la lenteja con 0.46 Kg /año,

el chícharo con 0.31 Kg /año en verde y 0.15 Kg/año en seco y el garbanzo con 0.17 Kg/año (FAOSTAT, 2011).

Considerando los datos reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera el consumo per cápita de haba en seco a nivel nacional en 2012 fue de 0.21 Kg/año. En ese año el consumo del frijol fue de 11.09 Kg/año, seguido del garbanzo con 0.51 Kg/año, el chícharo (seco y verde) con 0.46 Kg/año y la lenteja con 0.39 Kg/año (SIAP, 2012).

Sin embargo, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares realizada por el INEGI en 2012 en el ámbito rural y urbano, el haba fue la tercera leguminosa consumida en México, después del frijol y la lenteja. Para información estadística más detallada y los cálculos realizados para obtener del consumo per cápita del haba ver Anexo I.

#### 1.4 Literatura citada

- Anangono M, A (2006)** Estudio nutricional del haba, nuevas y creativas formas de preparación. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica Equinoccial. 138 p.
- Bascur, B G (1993)** La lenteja y el haba en América latina: su importancia, factores limitantes e investigación. International Center for Agricultural Research in the Dry Area (ICARDA). Aleppo, Siria. 1-13 p.
- Bermejo C, I Crippa, M Esposito, V Cravero, E Cointry (2008)** Caracterización de variedades de lenteja mediante marcadores morfológicos. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Rosario. 14:35-43
- Bond D A, D A Lawes, M H Poulsen (1980)** Broadbean (Faba bean) *In*: WR Fehr and HH Hadley (eds) Hybridization of crop plants. American Society of Agronomy and Crop Science. Madison, Winconsin, USA. 203-213 p.
- Bond D A, Poulsen M H (1983)** Pollination. The faba bean (*Vicia faba* L.) Chapter 3. Ed. P D Hebblethwaite. Londres, RU. 157-179 p.
- Crispín M A, P Pérez G, S Sánchez P (1978)** El cultivo de haba en los Valles Altos de México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigación Agrícola. SARH-INIA. México. 8 p.
- CONAPO, Consejo Nacional de Población (2014)** Consultado 24-04-14 en [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones\\_Datos](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos)
- Cubero J I (1974)** On the evolution of *Vicia faba* L. *Theoretical and Applied Genetics* 45:47-51.
- Cubero J I (1984)** Genetic resources and their exploitation- Chickpeas, Faba beans and lentil. JR Witcombe and W Erskine eds. The Netherlands. 131-186p.
- Pérez L D J, A González H (2003)** Cultivo y mejoramiento de haba. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. 101 p.
- Pérez L D J, A González H, O Franco M, M Rubí A, JF Ramírez D, Á Castañeda V, JG Aquino M (2014)** Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el Estado de México, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(2): 265-278.

- Díaz R, B E Herrera C, E Sandoval C (2000)** La diversidad de haba (*Vicia faba* L.) en el valle de Serdán. *In: Memorias: XVIII Congreso Nacional de Fitogenética*. Pp 115.
- Díaz R, A Delgado A, B E Herrera C, E Sandoval (2006)** Germplasm of faba bean (*Vicia faba* L.) in México. *In: International Workshop on Faba bean Breeding and Agronomy*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía. Córdoba, España. 188-190 p.
- Duc G (1997)** Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 53:99-109.
- Duc G, S Bao B, M Baumc, B Redden D, M Sadikie, M J Suso F, M Vishniakova G, X Zong (2010)** Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources. *Field Crops Research* 115:270–278.
- ENIGH, Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2012 (2013)** Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Descripción de la base de datos. México. 169 p. Consultado 24-04-14 <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/Encuestas/Hogares/regulares/Enigh/Enigh2012/tradicional/default.aspx>
- FAOSTAT, Statistics Division Food and Agriculture Organization (2010)** Consultado 15-01-12 en <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
- FAOSTAT, Statistics Division Food and Agriculture Organization (2011)** Consultado 24-04-14 en <http://faostat.fao.org/site/537/default.aspx>
- FAOSTAT, Statistics Division Food and Agriculture Organization (2011)** Consultado 24-04-14 en <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>
- FAOSTAT, Statistics Division Food and Agriculture Organization (2011)** Consultado 24-04-14 en <http://faostat.fao.org/site/537/default.aspx>
- FAOSTAT, Statistics Division Food and Agriculture Organization (2011)** Consultado 24-04-14 en <http://faostat.fao.org/site/368/DesktopDefault.aspx?PageID=368#anchor>
- García L T (2003)** Consideraciones en torno al tabú de las habas en la antigüedad. *Logos hellenikos*. Homenaje al profesor Gaspar Morocho Gayo. *In: J M Nieto I (ed.) León*. Pp 591-600.
- Gardner E, M J Simmons, D P Snustad (2007)** Principios de Genética. 4ª ed. Editorial Limusa Wiley. México. 119 p.

- Guerrero B, J (2012)** Caracterización agroclimática de cultivos priorizados y evaluación de impactos de variabilidad y cambio climático sobre el desarrollo fenológico de los cultivos y su productividad: medidas actuales de adaptación en las regiones Apurímac y Cusco. Serie de Investigación Regional No. 14. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Apurímac, Cusco, Perú. 171 p.
- Huyghe C (1998)** Genetics and genetic modifications of plant architecture in grain legumes: a review. *Agronomie* 18:383-411.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013a)** Balanza comercial de mercancías de México: anuario estadístico: exportación en pesos enero-junio 2012. Aguascalientes, México. 1480 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013b)** Balanza comercial de mercancías de México: anuario estadístico. Exportación en pesos julio- diciembre 2012. Aguascalientes, México. 1510 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013a)** Balanza comercial de mercancías de México: anuario estadístico. Importación en pesos enero-junio 2012. Aguascalientes, México. 2118 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013b)** Balanza comercial de mercancías de México: anuario estadístico. Importación en pesos julio- diciembre 2012. Aguascalientes, México. 2180 p.
- International Board for Plant Genetic Resources and International Center for Agricultural Research in the Dry Areas. IBPGR and ICARDA. (1985)** Faba bean descriptors. Plant Production and Protection Division. Rome. 23 p.
- Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. ICAMEX (2004)** Usos alternativos del cultivo del haba. Tecnología de producción de haba para la región centro. México. 37 p.
- Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. ICAMEX (2007)** Tecnología de producción del cultivo del haba. Región Centro. México. 67 p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA-BID-PROCIANDINO (1989)** III Curso corto. Investigación para la producción de haba, lenteja, arveja y garbanzo en la Subregión Andina. Ed. Por G. Hernández B y B Ramaktishna. Quito, Ecuador. 400 p.

- Lewis GP, BD Schrire (2003)** Leguminosae or Fabaceae?. Advantages in Legume Systematics. Royal Botanic Gardens. United Kingdom. 3 p.
- López, R M, S S Muciño (2006)** Tecnologías de producción para el cultivo de haba. ICAMEX, Conjunto SEDAGRO. Metepec, México.
- López R M (2011)** Mejoramiento genético de haba (*Vicia faba* L.) en México. II Congreso Nacional del Cultivo del Haba. México. Pp 498.
- López R M, M E Guadarrama G, E Deborah A, N Martínez Z, A G Vázquez I, V Terron G, M Villavicencio C, B I Medina D, D Hernández N, D Gómez G, M W Medina H, M A Romero L, S Estrada E, R Ramos A, H D Rodríguez G (2010)** Diagnóstico de la tecnología de producción del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en la región centro del país. *Ciencias Agrícolas*. 19(2): 60-70.
- Mateos Aparicio C, I (2008)** Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de productos funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria. Tesis de Doctorado. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. 235 p.
- Muratova, V (1931)** Common beans (*Vicia faba* L). Supplement 50 Bulletin of Applied Botany, Of Genetics And Plant-breeding. 285 p.
- Orozco C N, D J Pérez L, A González H, O Franco M, F Gutiérrez R, M Rubí A, Á Castañeda V, A Balbuena M (2013)** Identificación de poblaciones sobresalientes de haba colectadas en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(6):921-932.
- Peña P, R (2011)** Selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) por rendimiento y estabilidad en cinco localidades del suroeste de Tlaxcala. II Congreso Nacional del Cultivo del Haba. México. Pp 498.
- Pichardo R, J C (2010)** Crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en ambientes contrastantes. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, México. 344 p.
- Population Reference Bureau (2011)** Cuadro de datos de la población mundial 2011. Washington, Estados Unidos. 15 p. Consultado 24-04-14 en: [http://www.prb.org/pdf11/2011population-data-sheet\\_sp.pdf](http://www.prb.org/pdf11/2011population-data-sheet_sp.pdf)
- Rojas T J, R Díaz R, F Alvarez G, J Ocampo M, A Escalante E (2012)** Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores en Puebla y Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(1):35-49.

**Ruíz C J A, G Medina G, I J González A, C Ortiz T, H E Flores L, R Martínez P, K F Byerly M. (1999)** Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Libro Técnico No. 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. INIFAP. México. 324 p.

**SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012)** Consultado 15-02-2013 en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>

**SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012)** Consultado 24-04-14 en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>

**SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2014)** Consultado 20-01-2014 en <http://snics.sagarpa.gob.mx/Paginas/Inicio-SNICS.aspx>

**Sotolongo S R, G Geada L, M Cobas L (2012)** Mejoramiento Genético Forestal. Universidad de Pinar del Río, Cuba. 52 p.

**Tornero C M A, R J Contreras, C B V Peña (1993)** Tecnología agrícola para la producción de haba. Región de Llanos Serdán, Puebla. Colegio de Postgraduados. 17 p.

**Uwe M (2001)** Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas. 2ª ed. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. Escala extendida BBCH. Limburgerhot, Alemania. 149 p.

**Vila A (1991)** Nuevas Tendencias, Arqueología. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. RAYCAR, Impresores. Madrid. 233 p.

## CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA

### 2.1 Introducción

La evaluación *ex situ* de germoplasma nativo es crítico para su empleo en un programa de mejoramiento genético (Duc *et al.*, 2010). Durante la etapa de caracterización en campo la mayoría de los caracteres agronómicos que se registran permiten una discriminación fácil y rápida entre fenotipos ya que pueden detectarse a simple vista. Estos descriptores son de importancia económica y en su mayoría cuantitativos por lo que presentan variación continua con distribución binomial debida al efecto de varios genes cuyos efectos individuales son de pequeña magnitud pero con efecto aditivo (Molina, 1992). Sin embargo, también es posible registrar información sobre algunos factores de heredabilidad intermedia que permitan obtener una aproximación al valor agronómico de los materiales tales como los días a floración (Abadie *et al.*, 1997).

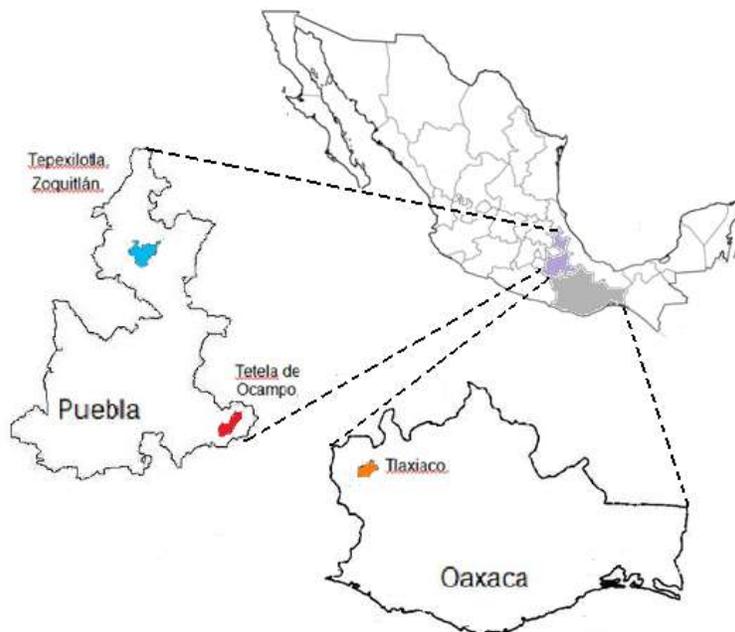
Una estrategia para mejorar la productividad y la rentabilidad del cultivo es evaluar diferentes variedades e identificar aquellas que superen a los cultivares nativos o tradicionales (Pichardo *et al.*, 2007). Así, en la evaluación de cultivares de haba introducidos en tres ambientes diferentes por Pichardo (2010) se obtuvo un rendimiento y expresión de componentes superiores a los locales. En Montecillo, Estado de México, el ciclo de vida de *Vicia faba* fue más corto (146 días) en comparación con San Pablo y Ciudad Serdán en Puebla (156 y 210 días, respectivamente), mientras que la mayor altura de planta se presentó en San Pablo. En cuanto al rendimiento de la vaina verde en las tres localidades, fueron los **cultivares no locales** Blanca (5 t ha<sup>-1</sup>), Monarca (9.4 t ha<sup>-1</sup>) y Cochinera Morada (10.3 t ha<sup>-1</sup>) los que presentaron mejores rendimientos, esto se relacionó con un mayor número de vainas y peso individual de vainas. De acuerdo con Musallam *et al.* (2004) y Alan *et al.* (2007) el mayor rendimiento presente en los cultivares de *Vicia faba* L. introducidos en comparación con los tradicionales se debe al aumento en la duración del área foliar, en el número de vainas, en el peso de semilla y a una mayor cantidad de semillas por vaina.

No obstante, es importante considerar que los seres vivos no están determinados exclusivamente ni por sus genes ni por su ambiente sino por la acción conjunta de ambos. La interacción Genotipo X Ambiente surge cuando una variación ambiental tiene distinto efecto sobre genotipos diferentes, o a la inversa, cuando un mismo genotipo responde de distinta manera en diversos ambientes (Márquez, 1976). La respuesta de adaptación y desarrollo de una especie viene influenciada por factores como la temperatura, la disponibilidad de agua, el fotoperiodo, la acumulación de horas frío y la presencia de nutrientes (Boote *et al.*, 2002) lo que influye directamente en el rendimiento y la expresión de caracteres agronómicos asociados a la calidad (de la Vega *et al.*, 2003). Sin embargo, dentro de un programa de mejoramiento genético se presenta otro factor más, la “*presión de selección*” debida a la elección dirigida de individuos para formar la nueva descendencia de acuerdo a cierta característica de interés que genera un desplazamiento en la media poblacional.

El hecho de que el haba sea una planta adaptada a diversas alturas (latitud y altitud), crezca en climas que van de templado a semiárido, se desarrolle en dos estaciones del año: invierno y primavera, soporte temperaturas entre 0 °C y 33 °C y crezca en diferentes tipos de suelo con un pH que va de 5.5 a 8.5, ricos en materia orgánica, calcio y fósforo, además de su gran variabilidad genética, la hacen una opción viable para iniciar un programa de mejoramiento (Ruíz *et al.*, 1999; Duc *et al.*, 2010; Pichardo *et al.*, 2007) para una agricultura tradicional, amigable con el ambiente. Sin embargo, a pesar de la importancia social y económica que genera este cultivo, la superficie sembrada fluctúa cada año, debido a los bajos rendimientos, a la falta de variedades mejoradas, a la nula e inadecuada fertilización, al empleo de fechas de siembra tardías, además de su susceptibilidad a plagas y enfermedades (López, 1997), así como la falta de un manejo adecuado del cultivo. Factores que hacen necesaria la búsqueda de nuevos cultivares con mayor rendimiento adaptados a cada localidad (Pichardo, 2010). También es importante introducir nuevas variedades de haba a diversas zonas agroecológicas para seleccionar aquellas que presenten las mejores características de adaptación y productividad (Martell *et al.*, 2000).

## 2.2 Materiales y métodos

El germoplasma de partida fueron 3 colectas realizadas en los estados productores de Puebla y Oaxaca (Cuadro 1 y Figura 4) durante el Invierno de 2009; *Colecta 1* (Tepexilotla, Zoquitlán, Puebla): semilla mediana tipo botánico *minor*, *Colecta 2* (Tetela de Ocampo, Puebla): semilla chica tipo botánico *minor*, *Colecta 3* (Tlaxiaco, Oaxaca): semilla grande tipo botánico *equina*.



**Figura 4.** Ubicación geográfica de los sitios de recolección de la semilla de haba

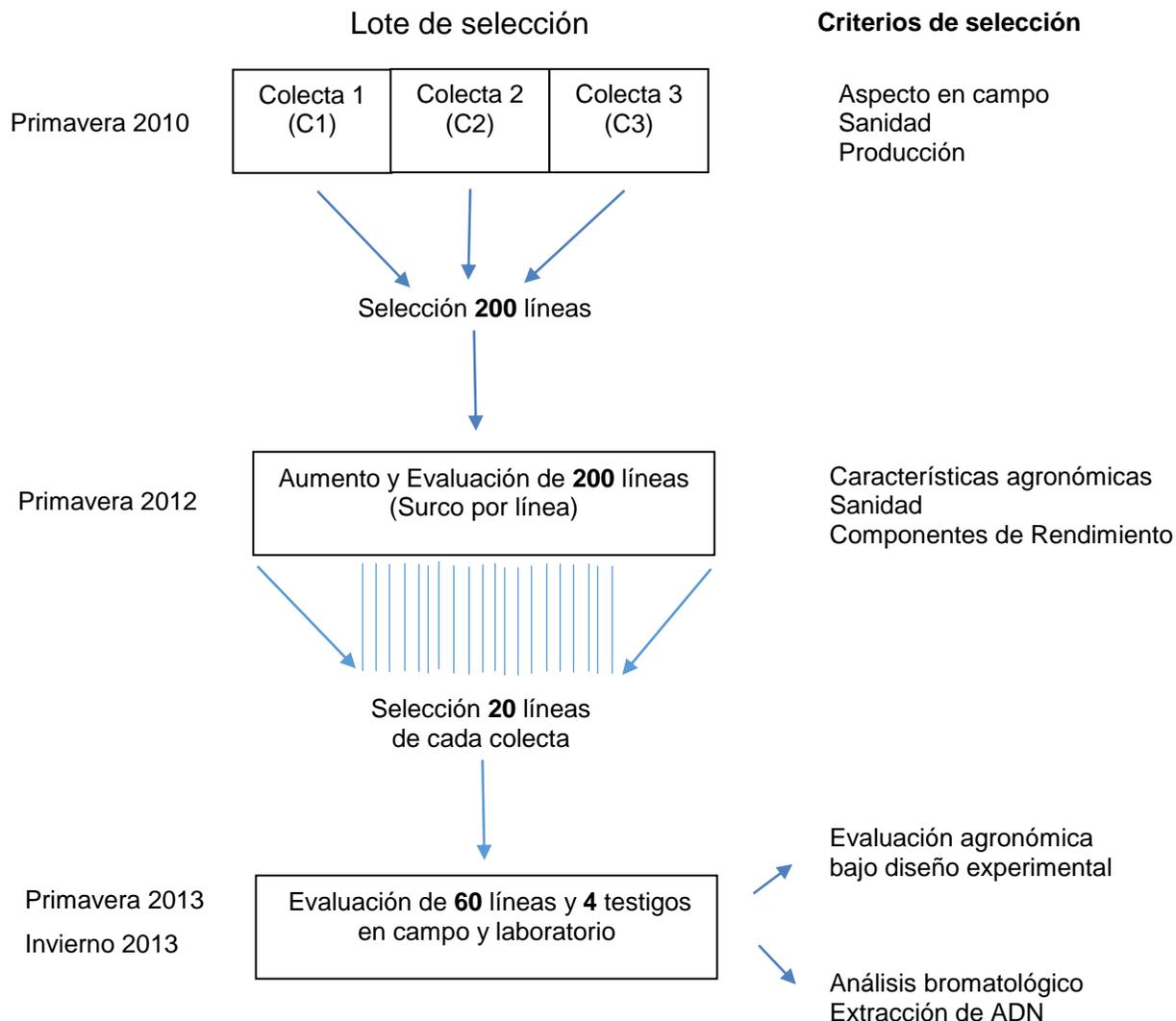
**Cuadro 1.** Características y origen de las colectas utilizadas en el presente estudio

DENOMINACIÓN	LOCALIDAD	ALTITUD	TIPO DE SEMILLA
<b>COLECTA 1</b>	Tepexilotla, Zoquitlán, Puebla	780 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>minor</i>
<b>COLECTA 2</b>	Tetela de Ocampo, Puebla	1760 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>minor</i>
<b>COLECTA 3</b>	Tlaxiaco, Oaxaca	2040 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>equina</i>

La investigación se llevó a cabo durante los ciclos primavera-verano 2012 y primavera-verano 2013, en el Campus Experimental Montecillo perteneciente al Colegio de Postgraduados (COLPOS) en Texcoco, Estado de México (19°29'4" N y 98°53'42" O), que se localiza a una altitud de 2250 msnm. Presenta climas que

van del templado semiseco al templado subhúmedo, con suelos de de textura media (Jasso *et al.*, 1985).

El germoplasma evaluado en el estudio consistió de 60 líneas derivadas por selección siguiendo el proceso que se indica en el diagrama siguiente (Figura 5).



**Figura 5.** Diagrama de obtención de la población para el estudio de variación agronómica, nutricional y molecular.

La población se sometió a incremento en primavera-verano 2012, se sembraron 200 líneas de cada colecta, con 10 individuos por surco, esta fue la unidad experimental. Se eligieron y evaluaron cinco plantas con competencia completa de cada línea que conformaron en total 1,000 individuos por colecta. En el segundo

ciclo primavera-verano 2013, se seleccionaron 20 líneas de cada colecta con base en sanidad y rendimiento, además de los testigos: *Vicia faba mayor, minor, equina y paucijuga*, los cuales se sembraron bajo un diseño de bloques completamente al azar con dos repeticiones, teniendo en total 128 parcelas (60 líneas más 4 testigos por 2 repeticiones) con 25 individuos. La unidad experimental consistió de 2 surcos de 5 m lineales por 0.8 m de ancho (parcela). Se seleccionaron cinco plantas por unidad experimental, evaluando los parámetros agronómicos y fenológicos de 640 individuos en total. Los parámetros agronómicos evaluados por cada unidad experimental fueron:

**Inicio de Floración (IF).** Se contabilizaron el número de días desde la siembra hasta la aparición de las flores abiertas en el 50 % de la unidad experimental (parcela).

**Inicio de Formación de Vaina (IFV).** Se consideró el número de días desde la siembra hasta la aparición de la primera vaina en el 50 % de la unidad experimental

**Días a Madurez (DM).** Se consideró el número de días después de la siembra hasta que el 50% de las vainas de cada surco se tornaron de verde-amarillo a negras y secas.

**Altura de Planta (AP).** Se midió la longitud en cm del tallo principal desde el suelo (base) hasta el ápice de cinco plantas por unidad experimental.

**Número de Tallos (NT).** De cinco plantas del surco se realizó el conteo total del número de ramas

**Número de Flores por Inflorescencia (NFI).** Se registró el número de flores en los nudos de la parte media de cinco plantas de la unidad experimental.

**Número de vainas (NV).** Se contabilizó como el total de las vainas obtenidas por planta (2012) o la suma de cinco plantas de la unidad experimental (2013).

**Peso de las semillas (PS).** Se consideró como el peso del total de semillas obtenidas por planta (2012) o de cinco plantas de la unidad experimental pesadas en Balanza Ohaus Modelo CS 5000 (Suiza) (2013).

La preparación del suelo se realizó en forma mecánica. En el ciclo primavera-verano 2012 la siembra del experimento se realizó el 30 de marzo de 2012, en forma manual con el uso de la pala, depositando dos semillas por golpe para garantizar la emergencia. El primer riego se dio el 1° de abril, posteriormente se realizaron una primera (22 de mayo) y segunda escarda (12 de junio). Se aplicó insecticida cuando fue necesario y no se fertilizó el suelo durante el experimento, la cosecha se realizó manualmente cuando las vainas llegaron a madurez fisiológica (coloración amarillenta tornando a negra).

En cuanto al ciclo primavera-verano 2013, éste se realizó el 12 de febrero de 2013 en forma manual con el uso de la pala depositando una semilla por golpe. El primer riego se dio el 13 de febrero. Para evitar la polinización cruzada se aplicó insecticida una vez por semana, el suelo no fue fertilizado durante el experimento y la cosecha se realizó manualmente cuando las vainas llegaron a madurez fisiológica (coloración amarillenta tornando a negra).

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el uso del programa SAS System for Windows versión 9.0 (SAS, 2002). Para cada parámetro obtenido en campo se determinaron los estadísticos simples media, los valores máximo y mínimo para cada colecta en ambos años, se realizó un análisis de varianza con la prueba de GLM ( $\alpha = 0.05, 0.01$ ) para experimentos desbalanceados sobre los ocho caracteres agronómicos, así como la prueba de comparación de medias de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ) para aquellos que presentaron diferencia significativa y el análisis de correlación de Pearson entre los caracteres para cada año (Camacho *et al.*, 1992). Para el ciclo primavera-verano 2012 solamente se tomaron los datos de las 20 líneas seleccionadas en base a peso de semilla por planta.

## **2.3 Resultados y discusión**

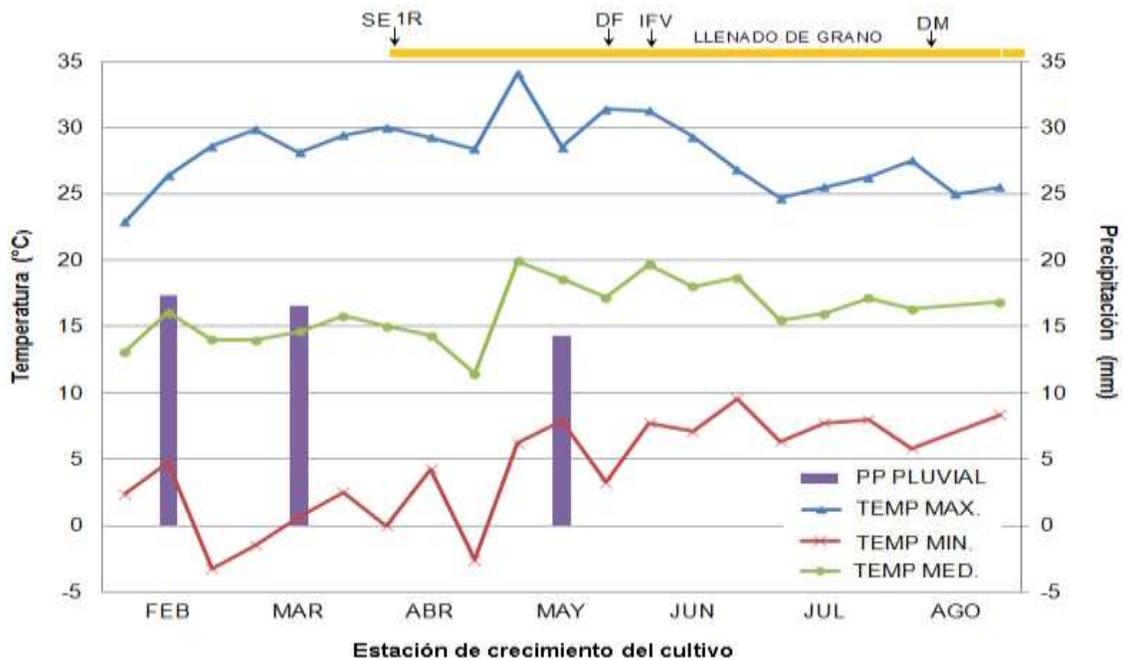
### **2.3.1 Elementos del clima**

Cabe señalar que existió un desfase de casi dos meses (48 días) entre la siembra del cultivo realizada en el ciclo primavera-verano 2012 (30 de marzo) con respecto al año siguiente (12 de febrero), aunque ambos ciclos tuvieron una duración de 5 meses hasta madurez fisiológica y su posterior cosecha.

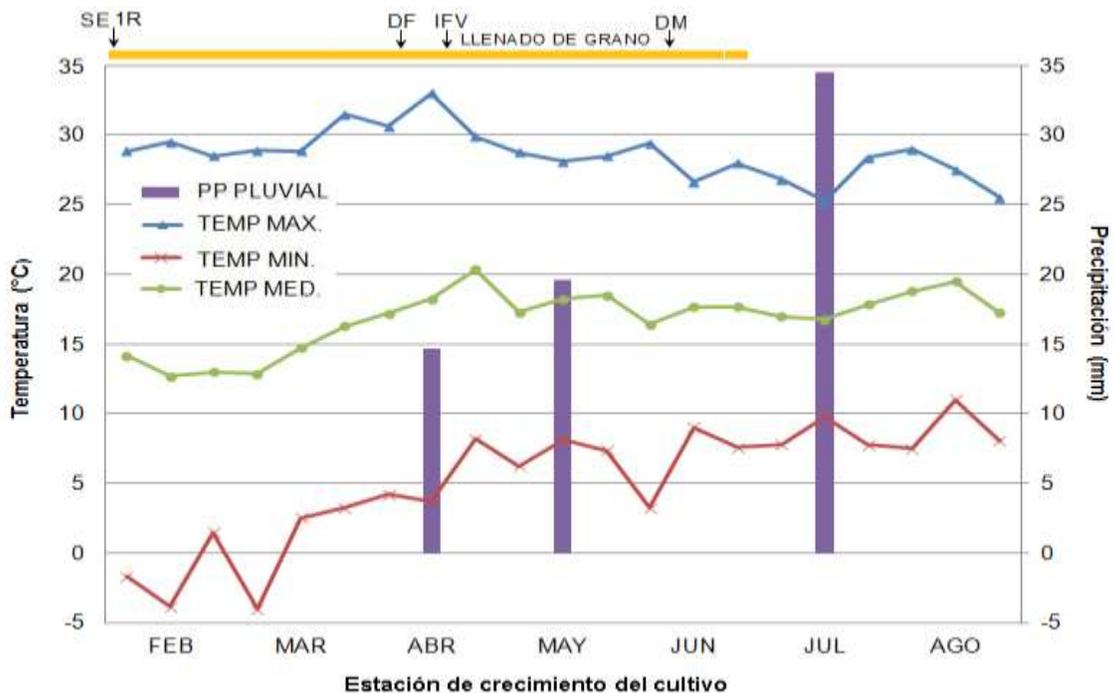
Durante el desarrollo del cultivo se consideró la temperatura media, máxima y mínima promedio de cada 10 días, así como la precipitación pluvial, los datos proporcionados por la estación meteorológica del Colegio de Postgraduados se presentan en las Figuras 6 y 7, son reportados en el Anexo II.

La precipitación total durante el ciclo primavera-verano 2012 fue de 30.9 mm, mientras que para el año siguiente en el ciclo primavera-verano fue de 34.3 mm. Sin embargo, la única precipitación en 2012 se presentó en mayo durante la etapa vegetativa previa a floración, mientras que en 2013 la precipitación más baja (14.7 mm) se presentó durante la etapa de floración y la siguiente precipitación durante la etapa de llenado de grano. Los meses más secos fueron en abril, en la etapa de desarrollo de la planta, además de junio, julio y agosto, durante el llenado de grano para el primer ciclo, mientras que al año siguiente fue en los meses de febrero, marzo (etapa de desarrollo vegetativo) y junio (última fase de llenado de grano).

Con respecto a la temperatura máxima, en el ciclo primavera-verano 2012, osciló entre 24.7 y 31.4 °C, presentando un máximo a inicios de mayo con 34.1 °C, mientras que durante la etapa de floración la temperatura excedió los 30 °C. La temperatura mínima promedio se encontró entre los 3.3 y 9.6 °C, con una helada blanca a finales de abril con -2.6 °C. Aunque hubo ligeras oscilaciones de temperatura media en la fase de germinación, ésta se mantuvo constante en el rango entre 15 a 20 °C.



**Figura 4.** Temperatura máxima, mínima, media y precipitación presentes en el ciclo primavera-verano 2012 en el Campo Experimental Montecillo. **SE:** Fecha de siembra, **1R:** Primer riego, **DF:** Días a floración, **IFV:** Inicio de formación de vaina, **DM:** Días a madurez fisiológica.



**Figura 5.** Temperatura máxima, mínima, media y precipitación presentes en el ciclo primavera-verano 2013 en el Campo Experimental Montecillo. **SE:** Fecha de siembra, **1R:** Primer riego, **DF:** Días a floración, **IFV:** Inicio de formación de vaina, **DM:** Días a madurez fisiológica.

Durante el ciclo primavera-verano 2013 la temperatura máxima fue más estable osciló entre los 26.6 y 29.9 °C, se presentó un máximo de 33 °C a mediados de abril entre la floración y el inicio de formación de vaina, y temperaturas superiores a 30 °C previo a la floración. En este año la temperatura mínima osciló entre -1.67 y 9 °C, se presentaron dos fechas por debajo de los 0 °C, a mediados de febrero y a inicios de marzo. En la temperatura media inicialmente se observan valores de 13 °C en febrero y aumenta paulatinamente hasta quedar entre los 15 y 20 °C en los meses siguientes.

### **2.3.2 Efecto de la fecha de siembra**

Al analizar los datos obtenidos en los parámetros agronómicos de ambos ciclos (Cuadro 2), es posible observar la interacción con el ambiente debida a la fecha de siembra diferente, Pichardo (2010) señala que la floración y la madurez en haba se encuentra controlada por el fotoperiodo, la temperatura y la precipitación.

Los días a inicio de floración durante ambos ciclos fueron similares, sin embargo, en cuanto a los días a inicio de formación de vaina y días a madurez fisiológica se dio un aumento durante la siembra de febrero de 2013 en las tres colectas comparados con el año anterior (abril de 2012). Al respecto López *et al.* (2005) señala que el haba presenta plasticidad que depende en gran medida de la duración de las fases vegetativa y reproductiva, así como de las condiciones climáticas durante el desarrollo vegetativo, tales como temperatura y disponibilidad de agua.

Respecto al parámetro altura de planta se obtuvieron valores menores en la siembra de febrero de hasta 7 cm de diferencia con respecto a la siembra de abril. Orozco *et al.* (2013) señaló que la altura de planta depende del genotipo (G), del ambiente (A) y de la interacción G x A, mientras que Al-Reface *et al.* (2004) indicó que también depende del tamaño de la semilla, así semillas grandes dan lugar a plantas más altas. Las respuestas del rendimiento y sus componentes (índice de área foliar y altura de planta) en el cultivo de haba de crecimiento determinado viene influenciado por el medio ambiente (Loreto, 2011).

**Cuadro 2.** Parámetros fenológicos evaluados en tres colectas de *Vicia faba* sembradas en el Campo Experimental Montecillo durante los ciclos primavera-verano 2012 y primavera-verano 2013.

DÍAS A INICIO DE FLORACIÓN	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	58 a <sup>1</sup>	54	62	1.32	0.02
		2 tipo <i>minor</i>	20	56 a	53	62	2.96	0.05
		3 tipo <i>equina</i>	20	56 a	54	58	1.79	0.03
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	58 a	57	67	2.17	0.04
		2 tipo <i>minor</i>	40	57 a	57	70	2.06	0.04
		3 tipo <i>equina</i>	40	57 a	55	72	2.47	0.04

DÍAS A FORMACIÓN DE VAINA	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	67 b	64	68	0.72	0.01
		2 tipo <i>minor</i>	20	63 c	61	70	2.44	0.04
		3 tipo <i>equina</i>	20	64 bc	63	66	1.14	0.02
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	72 a	66	76	2.00	0.03
		2 tipo <i>minor</i>	40	71 a	64	75	2.35	0.03
		3 tipo <i>equina</i>	40	71 a	64	75	2.48	0.04

DÍAS A MADUREZ FISIOLÓGICA	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	134 a	122	137	5.28	0.04
		2 tipo <i>minor</i>	20	126 bc	122	132	4.23	0.03
		3 tipo <i>equina</i>	20	124 c	122	126	2.04	0.02
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	130 ab	125	136	3.25	0.03
		2 tipo <i>minor</i>	40	130 ab	125	133	3.37	0.03
		3 tipo <i>equina</i>	40	130 ab	125	136	3.63	0.03

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre cultivares ( $p \leq 0.01$ ). **N**: Número de líneas, **DS**: Desviación estándar, **CV**: Coeficiente de variación

Al respecto, Pichardo (2010) ha señalado que la variación en la altura de planta viene dada por el contenido de humedad en el suelo, sin embargo, la diferencia en la precipitación total en dichos periodos no fue determinante en la altura tanto como la helada durante la fase de desarrollo de la siembra de marzo y la presencia de temperaturas superiores a los 20°C en la siembra de abril. Comportamientos similares en variación en la altura de planta se obtuvieron en los

cultivares locales de haba: Lara, Yerli, Sakiz y Seville evaluados en Turquía durante dos ciclos consecutivos anuales, donde pasó de 67.8 cm en 2009 a 79.2 cm en 2010 debido a las altas temperaturas y precipitaciones presentes en el segundo ciclo (Derya, 2013).

Sliman (1993) argumentó que la disminución en el rendimiento y la materia seca del haba se deben a la reducción en la altura de planta como resultado de una siembra tardía. La cantidad de agua presente en el suelo también afecta el reparto de asimilados y viene dada por la distribución y cantidad de precipitaciones durante el periodo de cultivo (Grashoff, 1990).

En cuanto a los caracteres relacionados con el rendimiento indicados en el Cuadro 4: el número de vainas por planta y peso de semilla por planta, fueron mayores en la siembra de abril. Este comportamiento es similar a lo reportado por Bascur (1997) en la variedad portuguesa INIA cultivada en Chile en dos fechas de siembra diferentes, se encontró que la época de siembra más tardía en primavera presentó un rendimiento significativamente superior a otras variedades analizadas, pero difiere de lo reportado por Adisawanto *et al.* (1997) y Confalone (2008), este último obtuvo una reducción tanto en el número de vainas por unidad de superficie como en el peso de las semillas, quien indicó que estos componentes disminuyen al atrasar las siembras en primavera. La menor cantidad de vainas presentes en la siembra de febrero se debe probablemente a la presencia de temperaturas menores a 5°C durante la etapa de floración y la última fase de llenado de grano, lo que pudo haber causado la caída de anteras y el aborto de flores, afectando a su vez el número de vainas presentes en la planta, así como el peso de la semilla por planta, además de la helada que se presentó en marzo que afectó a las plantas jóvenes, las cuales emplearon sus recursos en recuperarse (rebrote). Al respecto, Aquesolo (2013) encontró que el someter plantas de haba a heladas suaves de primavera provoca la disminución en el número de tallos con vaina lo que afecta la cosecha final, demostró también que la planta pierde resistencia frente a las heladas conforme avanza su estado vegetativo y entra en el estado reproductivo.

**Cuadro 3.** Parámetros morfológicos evaluados en tres colectas de *Vicia faba* sembradas en el Campo Experimental Montecillo durante los ciclos primavera-verano 2012 y primavera-verano 2013.

ALTURA DE PLANTA	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	86.59 a <sup>1</sup>	78.6	95.6	5.29	0.06
		2 tipo <i>minor</i>	20	90.01 a	68.8	107.4	8.46	0.09
		3 tipo <i>equina</i>	20	91.67 a	81.2	105.4	7.94	0.09
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	79.52 a	62.2	153.2	14.11	0.18
		2 tipo <i>minor</i>	40	86.99 a	59.0	148.8	14.82	0.17
		3 tipo <i>equina</i>	40	85.34 a	44.2	138.6	13.44	0.16

NÚMERO DE TALLOS	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	12 a	9	17	2.41	0.20
		2 tipo <i>minor</i>	20	11 b	8	14	1.61	0.15
		3 tipo <i>equina</i>	20	9 b	6	12	1.29	0.14
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	5 c	3	7	1.22	0.24
		2 tipo <i>minor</i>	40	6 c	3	10	1.37	0.23
		3 tipo <i>equina</i>	40	7 c	3	12	1.42	0.20

NÚMERO DE FLORES INFLORESCENCIA	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	4 a	3	5	0.54	0.13
		2 tipo <i>minor</i>	20	3 b	2	4	0.36	0.12
		3 tipo <i>equina</i>	20	3 b	2	4	0.38	0.13
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	4 a	3	5	0.67	0.18
		2 tipo <i>minor</i>	40	4 a	2	5	0.59	0.15
		3 tipo <i>equina</i>	40	4 a	2	6	0.71	0.17

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre cultivares ( $p \leq 0.01$ ). **N**: Número de líneas, **DS**: Desviación estándar, **CV**: Coeficiente de variación

Stützel (1995) considera que con siembras tardías se acorta el tiempo de floración con lo que se produce un descenso en el rendimiento, mientras que Adisawanto *et al.* (1997) lo atribuye a una disminución en el tamaño de las semillas en aquellas vainas más cercanas al ápice de la planta debido al acortamiento del periodo de llenado de grano por el aumento de las temperaturas medias, su peso fue más uniforme en fechas tempranas. Loomis (1983) considera que en siembras

tempranas se desplaza la fase de llenado de grano a una época de menor déficit hídrico, lo que mejora la translocación y mantiene la actividad fotosintética por más tiempo, que de acuerdo con Ruíz (2003) genera una mayor producción de entrenudos, raíces, brotes y biomasa.

Al respecto, la presencia de un máximo de 33 °C durante el periodo de floración en la siembra de febrero pudo afectar negativamente el rendimiento, debido principalmente a la pérdida de botones florales y/o aborto en el desarrollo del fruto, en ese sentido Bozoglu *et al.* (2002) señala que el incremento en la temperatura durante la floración acorta el periodo de llenado de grano lo que afecta el rendimiento en un 25 %, asociado a una menor longitud y número de vainas por planta. Durante este ciclo se presentaron temperaturas mayores a 20°C en los meses de mayo y junio, lo que afecta la calidad de la semilla en cuestiones de palatabilidad y color, ya que temperaturas máximas de 18°C en la etapa de llenado de grano favorecen el desarrollo del cultivo de forma homogénea. Sin embargo, temperaturas superiores a 20°C en esa etapa acompañado de déficit hídrico favorecen una rápida acumulación de almidón con el consecutivo endurecimiento de los cotiledones y tegumentos, esto provoca una baja calidad en la semilla y desuniformidad en el color, lo cual depende de la época de siembra (Bianco, 1990).

### **2.3.3 Parámetros agronómicos**

Para iniciar un programa de mejoramiento genético es indispensable conocer los caracteres que toman en cuenta los productores para seleccionar su semilla. En las comunidades de Ciudad Serdán, Tlachichuca, San José Llano Grande y San Miguel Zoapan en Puebla y la comunidad Españita en Tlaxcala los agricultores seleccionan la semilla 20 ó 30 días antes de la siembra, que se realiza entre febrero y marzo. Entre las características que toman en cuenta están el tamaño de semilla que puede ser grande (57 %), mediana (40 %) o pequeña (3 %), que sean precoces y produzcan plantas con flores, vainas y semillas abundantes, resistentes a las principales plagas, enfermedades y a la sequía (Rojas *et al.*

2012) ya que en algunas regiones productoras la distribución de la precipitación llega a suspenderse hasta periodos de 20 días durante la etapa de floración y fructificación, lo que provoca la caída de flores y frutos pequeños y repercute en el rendimiento de grano (Díaz, 2009).

En la zona de la Sierra Norte de Puebla en el municipio de Tlatlauquitepec a una altitud de 1500 a 3000 msnm, como carácter primordial de la especie consideran la resistencia a las heladas y sanidad de la semilla, lo que garantiza su producción y venta. Además toman en cuenta caracteres relacionados con el **ambiente**, la **planta** y la **semilla**, tales como rendimiento, resistencia de enfermedades y a la sequía, altura de planta, número de vainas por mata, números de semillas por vaina, precocidad de la planta, peso de grano, sanidad de grano y sanidad de planta, entre otros. Tan sólo 26 % de los agricultores de la zona toman en cuenta tres caracteres en la selección y 5 % consideran más de cuatro caracteres contribuyendo a una mayor variabilidad genética de la especie (Díaz *et al.* 2008).

### **Días a inicio de floración**

Como es posible observar en el Cuadro 2, existió una mínima variación de 2 días a inicio de floración entre los dos tipos botánicos de haba y entre ciclos primavera-verano 2012 y 2013, por lo que no hubo diferencia significativa entre las colecta 1 y 2 (56 a 58 días), sin embargo, hay diferencia significativa entre la colecta 3 con el testigo *V. faba* tipo *equina* que tardó 66 días en iniciar su floración. Valores similares han sido reportados en las variedades criollas de los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos y el Distrito Federal, donde se reportan desde 60 hasta 85 días a floración (ICAMEX, 2007), en el genotipo 'SHBT-03-10' con 60 días (López *et al.*, 2011) y en el cultivar 'Alameda' con crecimiento indeterminado sembrado entre la última semana de marzo y la primera de abril en Santiago de Compostela con 59 días (Confalone, 2008).

Son menores a los cultivares de Chile reportados por Loreto (2011) pertenecientes a la variedad *V. faba* tipo *mayor:* 'Alargá', 'Retaca' y 'Verde Bonita' de crecimiento determinado con 77, 84 y 75 días, respectivamente, a los cultivares reportados por

Pichardo (2010) del Banco de Germoplasma del COLPOS y dos criollos de Puebla ('Pico de Orizaba' y 'Cochinera Montecillo') cuya floración se presenta entre 66 y 120 días después de la siembra; y a diversos genotipos de haba evaluados en el Estado de México y Tlaxcala (López *et al.*, 2011; Peña, 2011).

En el ciclo primavera-verano 2012 las líneas con menor número de días a floración en la variedad *V. faba* tipo *minor* fueron 'MON12-19', 'MON12-30', 'MON12-60', 'MON12-66', 'MON12-69', 'MON12-70', 'MON12-129', 'MON12-138', 'MON12-178' de la colecta 2 con 53 días y la mitad de las líneas de *V. faba* tipo *equina* (colecta 3) con 54 días, mientras que las líneas más tardías en *V. faba* tipo *minor* fueron 'MON12-112' (colecta 1) y 'MON12-156' (colecta 2) con 62 días y en *V. faba* tipo *equina* fueron 'MON12-62', 'MON12-117', 'MON12-119', 'MON12-120', 'MON12-161' y 'MON12-166' (colecta 3) con 58 días. En el ciclo primavera-verano 2013 la mayoría de las líneas de la colecta 1 fueron precoces con 57 días (*V. faba* tipo *minor*) y 'MON12-9' de *V. faba* tipo *equina* con 55 días, mientras que 'MON12-165' de la colecta 2 (*V. faba* tipo *minor*) tardó 70 días en presentar flores y 'MON12-50' (*V. faba* tipo *equina*) tardó 72 días.

Valores cercanos al mínimo han sido reportados por Tornero *et al.* (1993) en las variedades 'Terragona', 'Cochinera', y 'Morada' recomendadas para la región de Llanos de Serdán, Puebla con 55 y 65 días a floración, y en las variedades 'S-68-4', 'S-68-8', 'S-68-6', 'Puebla 7' y 'Puebla 9' recomendadas para la zona de Valles Altos de la Mesa Central con 54 y 55 días (Campos *et al.* 1993); y valores próximos al máximo se han encontrado en 15 variedades de habas colectadas en diferentes regiones de Palestina que tardaron entre 60 y 63 días en florecer (Mosa, 2012). En la variedad 'ICAMEX-V-31' adaptada a las regiones de Toluca, Atlacomulco, Valle de Bravo, Coatepec Harinas y Texcoco con 65 días (ICAMEX, 2007); en los genotipos 'SH-19', 'Diamante', 'SH-98', 'SH-92', 'San Pedro Tlaltizapan', 'SH-14', 'ILB 2075', 'ILB 2019', 'SH-07', 'SHBT-19-10', 'SHBT-24-10', 'SHBT-60-10' y 'SHBT-65-10' evaluados en el municipio de Calimaya, Estado de México, con 65 a 72.5 días (López *et al.* 2011) y en los genotipos 'ITA-29' y

'Xocoyucan' evaluados en Cuamilpa, Tlaxcala, con 69 y 73 días, respectivamente (Peña, 2011).

### **Días a inicio de formación de vaina**

Como puede observarse en el Cuadro 2, existió diferencia significativa en *V. faba* tipo *minor* entre la colecta 1 con 67 días a inicio de formación de vaina y la colecta 2 con 63 días durante el primer ciclo de cultivo ya que las colectas tienen diferente origen. Valores similares han sido reportados por Mwanamwenge *et al.* (1999) indicó que transcurren entre 56 y 106 días desde la siembra hasta esta fase. Mientras que aumento el número de días en el segundo ciclo de cultivo, en este caso se observó diferencia significativa entre el testigo *V. faba* tipo *equina* (81 días) y la colecta 3. Datos similares fueron reportados por Mosa (2012) en nueve cultivares de Palestina que tardaron 70 días en fructificar y por Confalone (2008) en el cultivar 'Alameda' con 72 días en la siembra realizada entre la última semana de marzo y la primera de abril.

En el ciclo primavera-verano 2012 las líneas precoces iniciaron la formación de vaina a los 61 días en *V. faba* tipo *minor* fueron 'MON12-12', 'MON12-19', 'MON12-30', 'MON12-60', 'MON12-66', 'MON12-129', 'MON12-138' y 'MON12-178' (colecta 2) y en *V. faba* tipo *equina* (colecta 3) fueron 'MON12-14', 'MON12-15' y 'MON12-21' con 63 días, mientras que la mayoría de las líneas de la colecta 2 y 9 líneas de la colecta 1 (*V. faba* tipo *minor*) tardaron 70 días en presentar vainas y las líneas 'MON12-62', 'MON12-116', 'MON12-117', 'MON12-119', 'MON12-120', 'MON12-161' y 'MON12-166' de la colecta 3 (*V. faba* tipo *equina*) con 66 días. En el ciclo primavera-verano 2013, aumento el número de días a inicio de formación de vaina a 64 días en las líneas 'MON12-18' (colecta 1) y 'MON12-127' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* y en 11 líneas de la colecta 3 (*V. faba* tipo *equina*) hasta 76 días en la línea 'MON12-24' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* y 'MON12-71' (colecta 3) con 75 días. Estos datos son menores a los reportados por Agung *et al.*(1998) que marca entre 83 a 105 días después de la siembra en cultivares evaluados en el sur de Australia y por Cruz (2009) con 127 y

120 días en una población obtenida por la cruce de las variedades *equina* y *paucijuga*.

### **Días a madurez**

Como se observa en el Cuadro 2, en el ciclo primavera-verano 2012 hubo diferencia significativa en la variedad *V. faba* tipo *minor* entre la colecta 1 (134 días) y la colecta 2 (126 días) ya que se colectaron en lugares diferentes y entre la colecta 1 con la colecta 3 (*V. faba* tipo *equina*) ya que se trata de variedades botánicas diferentes. En el ciclo primavera-verano 2013 existió diferencia significativa entre las colectas 1 y 2 (130 días) con respecto al testigos *V. faba* tipo *minor* (163 días) y la colecta 3 con el testigo *V. faba* tipo *equina* (166 días). Valores similares han sido reportados por Confalone (2008) en el cultivar 'Alameda' con 128 días en la siembra realizada entre la última semana de marzo y la primera de abril y por Agung *et al.* (1998) con una duración entre 124 y 128 días en cultivares evaluados al sur de Australia. Estos valores son menores a los reportados en variedades registradas por ICAMEX (2007) cuyo periodo oscila entre los 170 y 190 días; las variedades 'Terragona', 'Cochinera' y 'Morada' indicadas por Tornero *et al.* (1993) para la región de Puebla con 150 a 200 días; y a diversos genotipos de haba evaluados en los Valles Altos y el Estado de México con 143 a 175 días (Campos *et al.*, 1993; López *et al.*, 2011).

En el ciclo primavera-verano 2012, el menor número de días a madurez se presentó a los 122 días en líneas de ambas variedades botánicas, mientras que las líneas que tardaron en madurar fueron 'MON12-14' (colecta 1) y 'MON12-110' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 137 días. En el ciclo primavera-verano 2013 las líneas precoces se presentaron en ambas variedades botánicas con 125 días y las más tardías fueron 'MON12-69', 'MON12-11' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* y 'MON12-76' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 136 días. Valores similares han sido reportados por ICAMEX (2007) en variedades criollas de Morelos que presentan madurez fisiológica entre los 140 y 185 días posteriores a la siembra,

en el haba 'Parraleña' indicada por Tornero *et al.* (1993) para la zona de Puebla con 140 a 150 días, en las variedades 'Terragona Amarilla 2', 'Blanca', 'Juchitepec', 'Cochinera Montecillo', 'V-31' y 'V-35' del Banco de Germoplasma del COLPOS Campus Puebla con 143, 144, 139, 140, 134 y 134, respectivamente días a madurez (Pichardo, 2010) y en la variedad 'ILB-9020' con 137 días a madurez (López *et al.*, 2011).

### **Altura de planta**

En el haba, el hábito de crecimiento puede ser indeterminado en grado variable según los genotipos, es decir, varía el grado de competición entre los ápices vegetativos y las flores, las vainas y las ramas, por lo que se pueden observar diferentes tamaños en las plantas, como también posiciones diferenciadas de los frutos en las plantas debido a la presencia de un meristemo apical vegetativo que permite a las plantas prolongar su crecimiento reproductivo, lo que ofrece también la oportunidad de producir nuevos órganos vegetativos o reproductivos, además existen variedades de crecimiento determinado con un meristemo apical reproductivo que detiene su crecimiento (Ruíz, 2003). En el caso de esta investigación, las habas presentaron crecimiento indeterminado

En el Cuadro 3 se presenta la variación en la altura de planta, en el ciclo primavera-verano 2012 las alturas presentes en las tres colectas fueron muy similares entre sí, por lo que no hubo diferencia significativa entre ellas. En el ciclo primavera-verano 2013 disminuyó alrededor de 5 centímetros, sin embargo, no existió diferencia significativa entre ellas ni con respecto a los testigos. Valores similares en altura han sido reportados por Pérez *et al.* (2003) en material criollo colectado en las comunidades del Estado de México: San Francisco Tlalcialcalpan ('C-87-1'), Santa Cruz Coacalco ('C-87-3') y Santa Cruz Atizapán ('C-87-4'), con 91.00, 94.68 y 94.13 cm, respectivamente y por Franco *et al.* (1998) en los cultivares 'M6S682720 CB', 'San Felipe Progreso' y 'Santa María Tlalmimilolpan' con 89.9, 91.9 y 94.7, respectivamente evaluados en dos localidades de Toluca: el

Cerrillo Piedras Blancas y Santa María Tlalmimilolpan. En cuanto a los cultivares pertenecientes al Banco de Germoplasma del COLPOS Campus Puebla son 'Terragona Amarilla 1', 'Terragona Amarilla 2', 'Juchitepec', 'Cochinera Morada', 'Monarca', 'Diamante' y 'V-35' quienes presentan alturas mínimas entre 90 y 91 cm (Pichardo, 2010). Mientras que en las variedades 'VF-2', 'VF-5', 'VF-10', 'VF-14' y 'VF-19' de haba de Palestina se han reportado alturas de 78.3, 85.0 y 88.3 cm (Mosa, 2012). Estas alturas de planta son menores a variedades liberadas por el ICAMEX que oscilan entre los 120 y 175 cm (ICAMEX, 2007).

En el ciclo primavera-verano 2012 la altura de las plantas varió desde 68.8 cm en la línea 'MON12-62' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* y 81.2 cm en 'MON12-166' y 'MON12-59' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* hasta 107.4 cm en la línea 'MON12-129' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* y 105.4 cm en 'MON12-56' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con. En el ciclo primavera-verano 2013 osciló desde 59.0 cm en la línea 'MON12-48' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* y 44.2 cm en 'MON12-80' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* hasta 153.2 cm en la línea 'MON12-8' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* y 138.6 cm en la línea 'MON12-46' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina*. Valores similares a las alturas mínimas han sido reportadas en variedades de Grecia consideradas de altura baja con 49 cm (Terzopolous *et al.*, 2004), en la colecta 'C-86-1' de Xalatlaco, Estado de México, con 77.40 cm (Pérez *et al.*, 2003); en la variedad 'S-68-4' evaluada en los Valles Altos con 52 cm (Campos *et al.*, 1993); en las variedades 'Parraleña', 'Cochinera Montecillo', 'San Pedro' y 'V31' del Banco de Germoplasma del COLPOS Campus Puebla con 80 cm (Pichardo, 2010) y en variedades criollas de Hidalgo con 80 cm (ICAMEX, 2007). Mientras que plantas similares en altura máxima se han encontrado en las variedades 'VF-12' y 'VF-13' de Palestina con 96.7 cm (Mosa, 2012); en las líneas 'C-88-1' y 'C-88-3' de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEM con 98.1 y 101.4 cm, respectivamente (Franco *et al.*, 1998); en la variedad 'Parraleña' con 140 cm (Tornero *et al.*, 1993); en las variedades 'SH-61', 'San Pedro Tlaltizapa', 'ILB-9030', 'SHBT-05-10', 'SHBT-61-10' y 'SHBT-65-10' evaluadas en Calimaya, Estado de México (López *et al.*, 2011); en las variedades 'SGHPR22-09', 'SGHPR23-09', 'SGHPR24-09' evaluadas en Texcaltitlán, Estado de México

(López *et al.*, 2011) y en las variedades 'S-68-4' y 'Puebla 4' para la zona de Valles Altos (Campos *et al.*, 1993).

### **Número de flores por inflorescencia**

La inflorescencia se presenta en un racimo axilar, varía en la cantidad de flores presentes, estas pueden ser blancas, marrones o violetas, puede presentar un punto de melanina negro en las alas (Duc, 1997). De acuerdo con Ruíz (2003) el número de flores por inflorescencia por nudo disminuye en los tallos secundarios. En concordancia con lo reportado por Terzopoulous *et al.* (2004) los estandartes pueden presentar una vena con ligera, moderada o alta intensidad, como fue observado durante la toma de datos en campo, además de una ligera coloración violeta en las flores y la presencia del punto de melanina. La coloración de la flor está asociada con el color de la testa en la semilla (Singh *et al.*, 1988) y con la presencia de taninos. Por lo tanto, las flores blancas se correlacionan con su ausencia presentándose en poblaciones de Chipre, Grecia, Italia, Portugal, España y Yugoslavia (Polignano *et al.*, 1999).

En el ciclo primavera-verano 2012, presentado en el Cuadro 3, se observa poca variación en la cantidad de flores presentes en *V. faba* tipo *minor* representada por las colectas 1 y 2, sin embargo, existe diferencia significativa entre ellas ya que tienen un origen diferente. En la variedad *V. faba* tipo *equina* se obtuvieron 3 flores por inflorescencia, por lo que presentó diferencia significativa con respecto a la colecta 1 ya que pertenecen a variedades botánicas diferentes. Para el ciclo primavera-verano 2013 la cantidad de flores por inflorescencia se mantuvieron constantes, existió diferencia significativa entre el testigo *V. faba* tipo *minor* (4 flores) con la colecta 1. Valores similares se reportan en una población recombinante derivada de la cruce entre los tipos *equina* y *paucijuga* con 4 flores por inflorescencia (Cruz, 2009) y en variedades de Grecia con un rango de 2.5 a 3 flores (Terzopolous *et al.*, 2004).

En el ciclo primavera-verano 2012 las líneas con menor número de flores por inflorescencia fueron en *V. faba* tipo *minor* 'MON12-48' (colecta 2) y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-55' (colecta 3) con 2 flores, mientras que las líneas con más flores fueron en *V. faba* tipo *minor* 'MON12-1', 'MON12-92' (colecta 1), 'MON12-43' (colecta 2) con 5 flores y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-14' (colecta 3) con 4 flores. Durante el ciclo primavera-verano 2013 la cantidad de flores en ambas variedades se mantiene constante con 2 flores en las líneas 'MON12-129' (colecta 2), 'MON12-111' y 'MON12-112' (colecta 3) hasta 5 flores en las líneas 'MON12-8', 'MON12-97' (colecta 1) y 'MON12-5' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* y 'MON12-46' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con un máximo de 6 flores.

### **Número de tallos**

El número de tallos por planta es una de las variables que más oscila en función de la fecha de siembra y las condiciones ambientales, la siembra en épocas diferentes modifica las longitudes de los órganos (entrenudos, hojas, flores y vainas) y su distribución a lo largo de la planta (Ruíz, 2003), mientras que el nivel de radiación afecta el crecimiento vegetativo y modifica el número de tallos por planta (Gautier *et al.*, 2000). Otro detalle importante observado por Terzopolous *et al.* (2004) es la pigmentación violeta en el tallo en variedades de Grecia, observándose también en este experimento durante la toma de datos en campo, además de la presencia de tallos sin pigmentación. En el cuadro 3 se presenta la variación en el número de tallos obtenida como promedio de 20 líneas por colecta. En el ciclo Primavera-Verano 2012 existió diferencia significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre las colectas 1 y 2 de la variedad *V. faba* tipo *minor* con 10 y 12 tallos, respectivamente, en la variedad *V. faba* tipo *equina* (colecta 3) disminuyó a 9 tallos por lo que presentó diferencia significativa con respecto a la colecta 1 ya que pertenecen a variedades botánicas diferentes. En el ciclo primavera-verano 2013 disminuyó el número de tallos hasta 5 y 6 tallos en las tres colectas, no se observa diferencia significativa entre ellas ni con los testigos correspondientes. Valores similares han sido reportados en las variedades liberadas 'San Pedro

Tlaltizapan', 'ICAMEX-V-35', 'ICAMEX-V-31', 'Diamante', 'Monarca' y 'San Isidro' que presentaron en promedio 5 tallos por planta; en las variedades criollas de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos y el Distrito Federal con 3 a 6 tallos (ICAMEX, 2007) y en 32 poblaciones de haba colectadas en el Valle Toluca-Atzacomulco evaluadas bajo condiciones de temporal en las localidades de San Nicolás Guadalupe, San Felipe del Progreso y San Mateo Oztzacatipan en Toluca, Estado de México con 4.94, 5.61 y 6.16 tallos, respectivamente (Orozco *et al.*, 2013).

En el ciclo primavera-verano 2012 el número de tallos variaron desde 6 en las líneas 'MON12-120', 'MON12-92', 'MON12-99' y 'MON12-72' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* y 8 en las líneas 'MON12-62' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* hasta 17 en la línea 'MON12-126' (colecta 1) de *V. faba* tipo *equina* y 12 tallos en la línea 'MON12-51' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina*. En el ciclo primavera-verano 2013 disminuyeron a 3 tallos en ambas variedades botánicas, en las líneas 'MON12-40', 'MON12-50' (colecta 1), 'MON12-13' (colecta 2) y 'MON12-67' (colecta 3), con máximo 10 tallos en las líneas 'MON12-129' y 'MON12-54' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* y 12 tallos en la línea 'MON12-17' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina*. Plantas con 2 ó 3 tallos han sido reportadas por Derya (2013) en las variedades 'Lara', 'Yerli', 'Sakiz' y 'Seville' de haba de Turquía y en las poblaciones 'S-68-4', 'S-68-8', 'S-68-6', 'Puebla 7' y 'Puebla 9' recomendadas para Valles Altos (Campos *et al.*, 1993). Además del material 'C-85-1', 'C-85-2', 'C-85-3', 'C-86-1', 'C-86-3', 'C-86-4', 'C-87-1', 'C-87-2', 'C-87-3' y 'C-87-4' colectado en diversas localidades del Estado de México con 4 tallos por planta (Pérez *et al.*, 2003) y el haba tipo *minor* 'Can-110' evaluada en Texcoco, Estado de México con 4 tallos (Solórzano, 2011).

**Cuadro 4.** Componentes del rendimiento evaluados en tres colectas de *Vicia faba* sembradas en el Campo Experimental Montecillo durante los ciclos primavera-verano 2012 y primavera-verano 2013.

NÚMERO DE VAINAS POR PLANTA	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	74 a <sup>1</sup>	51	91	11.63	0.16
		2 tipo <i>minor</i>	20	70 a	9	90	21.48	0.31
		3 tipo <i>equina</i>	20	60 ab	30	89	16.73	0.28
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	49 b	19	82	14.99	0.31
		2 tipo <i>minor</i>	40	46 b	20	76	13.90	0.30
		3 tipo <i>equina</i>	40	48 b	25	73	12.94	0.27

PESO DE SEMILLAS POR PLANTA	AÑO	COLECTA	N	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DS	CV
	2012	1 tipo <i>minor</i>	20	97.96 a	86.8	128.8	11.01	0.11
		2 tipo <i>minor</i>	20	108.38 a	30.6	165.2	30.70	0.28
		3 tipo <i>equina</i>	20	104.71 a	58.4	159.0	25.72	0.25
	2013	1 tipo <i>minor</i>	40	84.92 ab	20.8	152.0	32.02	0.43
		2 tipo <i>minor</i>	40	83.17 ab	36.8	191.9	29.66	0.36
		3 tipo <i>equina</i>	40	88.39 ab	45.4	144.7	25.89	0.29

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre cultivares ( $p \leq 0.01$ ). **N**: Número de líneas, **DS**: Desviación estándar, **CV**: Coeficiente de variación

### Número de vainas

Derya (2013) encontró que este carácter es fuertemente influenciado por las condiciones de temperatura y precipitación presentes en el ambiente durante el desarrollo del cultivo, se identificó además una correlación positiva entre el número de ramas y el número de vainas por planta (0.8771), comportamiento que también se presentó en la presente investigación ya que se obtuvo un mayor número de ramas en el primer año que repercutió en un mayor número de vainas y peso de semillas por planta con respecto al ciclo primavera-verano 2013. Nachi *et al.* (1996) indicó que las condiciones favorables de crecimiento permiten un incremento en el número de vainas por planta pero quizás causen el aborto de semillas debido a la competencia por los asimilados entre los órganos de la planta.

Los datos del número de vainas por planta son presentados en el Cuadro 4, en el ciclo primavera-verano 2012 no hubo diferencia significativa entre las colectas 1 y 2 de la variedad *V. faba* tipo *minor*, sin embargo, se presenta al compararlas con *V. faba* tipo *equina* ya que pertenecen a variedades botánicas diferentes. Al año siguiente disminuyó el número de vainas hasta aproximadamente 47 vainas, sin embargo, no hubo diferencia significativa entre colectas, ni entre éstas y los testigos correspondientes. Valores similares han sido reportados en las variedades liberadas 'ICAMEX-V-31' y 'San Isidro' con 47 y 55 vainas por planta, respectivamente (ICAMEX, 2007) y en la población recombinante derivada de la cruce entre las variedades *equina* y *paucijuga* con 42 vainas (Cruz, 2009). Estos valores son superiores a los reportados en los cultivares 'Alargá', 'Retaca' y 'Verde Bonita' de Chile con 6 y 8 vainas (Loreto, 2011); en 18 variedades de Palestina que oscilaron entre 3 y 20 vainas por planta (Mosa, 2012); en las variedades 'Lara', 'Yerli', 'Sakiz' y 'Seville' de Turquía con 4 a 10 vainas (Derya, 2013); en variedades colectadas en el Estado de México que presentan entre 8 y 11 vainas por planta (Pérez *et al.*, 2003); en las variedades criollas de los estados de Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos y el Distrito Federal con 20 a 40 vainas (ICAMEX,2007); en las variedades 'ITA-29', 'Xocoyucan' y 'Tezoquipan' de Tlaxcala con 4.5 a 10.6 vainas (Peña, 2011) y en 32 poblaciones de haba colectadas en el Valle Toluca-Atlacomulco con 10.92 a 15.81 vainas (Orozco *et al.*, 2013).

En el ciclo primavera-verano 2012 las líneas con menor número de vainas en *V. faba* tipo *minor* fue 'MON12-64' (colecta 2) con 23 y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-161' (colecta 3) con 30 vainas, mientras que las líneas con más vainas en *V. faba* tipo *minor* fue 'MON12-97' (colecta 1) con 91 y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-15' (colecta 3) con 89 vainas. En el ciclo primavera-verano 2013 las líneas con menos vainas en *V. faba* tipo *minor* fue 'MON12-106' (colecta 1) con 19 y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-67' (colecta 3) con 25 vainas, mientras que las líneas con mayor cantidad de vainas en *V. faba* tipo *minor* fue 'MON12-24' (colecta 1) con 82 y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-10' (colecta 3) con 73 vainas.

Valores similares han sido reportados en la variedad 'VF-13' de Palestina con 26 vainas por planta (Mosa, 2012) y en las líneas 'A-88-1-4.0', 'C-88-3-4.0', 'M5L831315CB' y 'Santa María Tlalmimilopan' evaluadas en el Estado de México con 22, 25, 25 y 28 vainas, respectivamente (Pérez *et al.*, 2003) y en la variedad 'Can-110' evaluada en Texcoco con 38 vainas por planta (Solórzano, 2011).

### **Peso de las semillas**

Las semillas pueden ser amarillas, verdes, marrones, negras, violetas o moteadas, con el hilum negro o claro (Ruíz, 2003). Durante la eliminación de la vaina se observaron en su mayoría semillas verdes y la presencia de algunas marrones o rojas. En el cuadro 4 se presenta la variación obtenida al evaluar las tres colectas de haba durante los ciclos primavera-verano 2012 y primavera-verano 2013. Terzopoulos *et al.* (2004) considera que el peso de la semilla está determinado por el número de vainas por planta, el número de óvulos y semillas por vaina, el número de ramas y el peso por planta.

En el ciclo primavera-verano 2012 se obtuvo un peso más elevado aproximadamente en 15 g en las tres colectas, por lo que existió diferencia significativa entre ciclos, sin embargo, esta no existe entre colectas ni con respecto a los testigos. Valores similares se han obtenido en las líneas 'Santiago Tlacotepec', 'C-88-1-4.0', 'A-88-1-4.0' y 'M6S682720CB' evaluadas en Toluca, Estado de México, con 104, 97 y 110 g de semilla por vaina (Franco *et al.*, 1998) y en la variedad 'VF-4' de Palestina con 91.67 g (Mosa, 2012). Los valores reportados fueron superiores a los reportados en las variedades 'Lara', 'Yerli', 'Sakiz' y 'Seville' de Turquía con pesos entre 12.2 y 16.3 g en el ciclo 2009 (Derya, 2013); en los cultivares 'Alargá', 'Retaca' y 'Verde Bonita' de Chile con 37.05, 34.71 y 34.78 g (Loreto, 2011) y a las poblaciones colectadas en el Valle de Toluca con pesos entre 17.65 y 72.78 g (Pérez *et al.*, 2003; Orozco *et al.*, 2013). Sin embargo, pesos mayores a los indicados han sido reportados por Franco *et al.*

(1998) en las líneas 'C-88-1-4.0', 'A-88-1-4.0', 'P-88-1-4.0', 'C-88-3-4.0' y 'M5L831315CB' con 117, 111, 132, 150 y 164 g, respectivamente.

En el ciclo primavera-verano 2012 las líneas con menos peso de semilla en *V. faba* tipo *minor* fueron 'MON12-64' (colecta 2) con 30.6 g y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-62' (colecta 3) con 58.4 g, mientras que las más pesadas en *V. faba* tipo *minor* fueron 'MON12-61' (colecta 2) con 165.2 g y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-15' (colecta 3) con 159.0 g. En el ciclo primavera-verano 2013 las líneas menos pesadas en *V. faba* tipo *minor* fueron 'MON12-97' (colecta 1) con 20.8 g y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-67' (colecta 3) con 45.4 g, las líneas con mayor peso de semilla en *V. faba* tipo *minor* fueron 'MON12-22' (colecta 2) con 191.9 g y en *V. faba* tipo *equina* 'MON12-14' (colecta 3) con 144.7 g. Pesos similares a los mínimos han sido reportados en ocho cultivares de Palestina que oscilan entre 20.0 y 43.87 g (Mosa, 2012) y en la línea 'San Felipe Progreso' con 45 g (Franco *et al.*, 1998).

### **2.3.4 Resultados y discusión en conjunto de parámetros agronómicos**

Con respecto al análisis de varianzas combinado (Cuadro 5), se observó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el factor año para los caracteres inicio de formación de vaina y peso de semilla por planta. Al aplicar la prueba de comparación de medias de Duncan en el primer carácter, se obtuvo un tiempo más largo de inicio de floración (72 días) en el ciclo primavera-verano 2013 fue diferente a los 65 días del ciclo primavera-verano 2012. En cuanto al peso de semillas por planta fue mayor durante el ciclo primavera-verano 2012 con 103.68 g difirió marcadamente del obtenido en el ciclo primavera-verano 2013 con 84.65 g.

En el factor genotipo mostró diferencia significativa en los caracteres inicio de floración, altura de planta ( $p < 0.05$ ), inicio de formación de vaina, número de flores por inflorescencia, número de tallos, número de vainas por planta y peso de semillas por planta ( $p < 0.01$ ).

**Cuadro 5.** Cuadrados medios del análisis de varianza combinado de las variables de domesticación evaluadas en tres colectas de *Vicia faba* sembradas en el Campo Experimental Montecillo durante los ciclos primavera-verano 2012 y 2013.

CARÁCTER	FUENTE DE VARIACIÓN			
	AÑO	GENOTIPO	AÑO X GENOTIPO	ERROR
IF	4.27	33.71*	7.53	3.88
IFV	16.66*	740.57**	4.18	2.09
DM	28.91	87.45	11.00	37.84
AP	178.47	568.38*	81.29	65.01
NFI	0.52	6.04**	0.46	0.15
NT	6.45	469.72**	2.39	3.85
NV	343.37	16557.79**	356.65	340.70
PS	720.26*	14509.09**	973.40*	100.20

IF: Inicio de floración, IFV: Inicio de formación de vaina, DM: Días a madurez, AP: Altura de planta, NFI: Número de flores por inflorescencia, NT: Número de tallos, NV: Número de vainas, PS: Peso de las semillas. \*, \*\* significativo al 5%, 1%

En el análisis de comparación de medias de Duncan, el ciclo primavera-verano 2012 presentó los parámetros sobresalientes. La colecta 1 (*Vicia faba* tipo *minor*) de Tepexilotla, Zoquitlán, Puebla sobresale con 12 tallos, 4 flores por inflorescencia, mayor número de vainas (74) y el mayor peso de semillas por planta (108.38 g). La colecta 2 (*Vicia faba* tipo *minor*) de Tetela de Ocampo, Puebla sobresale en el carácter inicio de floración con 56 días y en inicio de formación de vaina con 64 días, además de tener plantas altas (90 cm), con 10 tallos, un número elevado de vainas (70) y un elevado peso de semilla (104.71g). La colecta 3 (*Vicia faba* tipo *equina*) de Tlaxiaco, Oaxaca fue también precoz en días a inicio de floración (56 días) e inicio de formación de vaina (64 días), presentó también la altura de planta más elevada (91.67 cm) y un elevado peso de semilla por planta (97.96g).

Cabe señalar que a pesar de que las colectas proceden de zonas con diferente altitud, que van desde los 780 msnm en Puebla (Tepexilotla, Zoquitlán) hasta los 2040 msnm en Oaxaca (Tlaxiaco), presentaron una buena adaptación en el Campus Experimental Montecillo ubicado en Texcoco a una altitud de 2250 msnm.

La variación presente en el factor genotipo muestra que estos materiales presentaron un comportamiento genotípico diferente entre ellos, lo que hizo posible la identificación de los genotipos más deseables para iniciar el programa de mejoramiento.

En cuanto a la interacción genotipo por ambiente fue en el carácter peso de semilla por planta donde se obtuvo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) razón por la cual se realizó la selección de líneas en base a este parámetro agronómico.

La correlación existente entre los caracteres para cada año se reporta en los Cuadros 6 y 7, la cual se realizó mediante el análisis de correlación de Pearson. Se observan 8 correlaciones significativas en el año 2012 y sólo dos para el año siguiente, presentándose la correlación entre PS con NV en ambos años.

**Cuadro 6.** Coeficientes de correlación de Pearson de ocho caracteres agronómicos evaluados en tres colectas de *Vicia faba* en el ciclo primavera-verano 2012 en el Campo Experimental de Montecillo, Texcoco, Estado de México.

CARACTER	IF_2012	IFV_2012	DM_2012	AP_2012	NFI_2012	NT_2012	NV_2012	PS_2012
IF_2012		*	*	ns	*	ns	ns	ns
IFV_2012	0.812		*	ns	*	ns	ns	ns
DM_2012	0.445	0.587		ns	*	ns	ns	ns
AP_2012	-0.268	-0.254	-0.056		ns	ns	ns	ns
NFI_2012	0.494	0.593	0.633	-0.306		*	ns	ns
NT_2012	0.114	0.263	0.261	0.084	0.445		ns	ns
NV_2012	-0.136	-0.136	0.254	0.073	0.164	0.229		*
PS_2012	-0.169	-0.249	-0.018	0.037	-0.092	-0.105	0.576	

**Bajo la diagonal:** Valor de coeficiente de correlación de **IF:** Inicio de floración, **IFV:** Inicio de formación de vaina, **DM:** Días a madurez, **AP:** Altura de planta, **NFI:** Número de flores por inflorescencia, **NT:** Número de tallos, **NV:** Número de vainas, **PS:** Peso de las semillas. **Sobre la diagonal:** Nivel de significancia; \* significativo al 5%; ns no significativo

**Cuadro 7.** Coeficientes de correlación de Pearson de ocho caracteres agronómicos evaluados en tres colectas de *Vicia faba* en el ciclo primavera-verano 2013 en el Campo Experimental de Montecillo, Texcoco, Estado de México.

CARACTER	IF_2013	IFV_2013	DM_2013	AP_2013	NFI_2013	NT_2013	NV_2013	PS_2013
IF_2013		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IFV_2013	0.109		ns	ns	ns	ns	ns	ns
DM_2013	-0.177	-0.124		ns	ns	ns	*	ns
AP_2013	-0.086	-0.061	0.044		*	ns	ns	ns
NFI_2013	0.039	-0.016	0.022	0.477		ns	ns	ns
NT_2013	0.045	-0.046	0.022	-0.046	-0.089		ns	ns
NV_2013	0.075	-0.046	-0.317	-0.019	-0.041	-0.039		*
PS_2013	0.043	0.083	-0.123	0.086	0.073	0.042	0.491	

**Bajo la diagonal:** Valor de coeficiente de correlación de **IF:** Inicio de floración, **IFV:** Inicio de formación de vaina, **DM:** Días a madurez, **AP:** Altura de planta, **NFI:** Número de flores por inflorescencia, **NT:** Número de tallos, **NV:** Número de vainas, **PS:** Peso de las semillas. **Sobre la diagonal:** Nivel de significancia; \* significativo al 5%; ns no significativo

En cuanto a los parámetros relacionados con el desarrollo del cultivo se encontró correlación entre IF con DM ( $r=0.445$ ,  $p<0.05$ ), IF con IFV ( $r=0.812$ ,  $p<0.05$ ) e IFV con DM ( $r=0.587$ ,  $p<0.05$ ) lo que demuestra que el desarrollo del cultivo está fuertemente relacionado con el ambiente, fue la fecha de siembra un factor importante en su crecimiento, desarrollo y rendimiento (Confalone, 2008).

La comparación de parámetros relacionados con el desarrollo del cultivo y la estructura de la planta mostró correlaciones entre IF con NFI ( $r=0.494$ ,  $p<0.05$ ), IFV con NFI ( $r=0.593$ ,  $p<0.05$ ) y DM con NFI ( $r=0.633$ ,  $p<0.05$ ) por lo que el NFI es un parámetro fuertemente relacionado con el ciclo fisiológico del cultivo. Al respecto Bianco (1990) ha señalado que a pesar del elevado número de flores por nudo producidas por la planta, está no expresó su alto potencial productivo debido a la elevada abscisión de las mismas (75 y 90%).

Con respecto a la estructura de la planta, se encontraron correlaciones entre PS con NV ( $r=0.576$ ,  $p<0.05$ ) en 2012 y PS con NV ( $r=0.491$ ,  $p<0.05$ ), lo que indica que existe una relación directa entre estos componentes y el rendimiento de la planta, lo cual concuerda con lo indicado por Musallam *et al.* (2004), Alan *et al.* (2007) y Pichardo (2010) quienes además relacionan el rendimiento con un aumento en la duración del área foliar en el número de vainas, en el peso de semilla, una mayor cantidad de semillas por vaina y el peso individual de vainas de *Vicia faba* L. Se encontró otra correlación entre NFI con AP ( $r=0.477$ ,  $p<0.05$ ) en el 2013, ello debido a que el haba con crecimiento indeterminado presentan un desarrollo más prolongado, lo que permite la expresión de una mayor cantidad de nudos con flores por tallo, que a su vez dará lugar a una mayor cantidad de vainas, semillas por vaina y un mayor peso de cada semilla (Pilbeam *et al.*, 1990). Correlaciones similares han sido halladas por Derya (2013) entre el peso de la semilla por planta (SN) y el número de vainas por planta (PN) con 0.8771 al analizar cuatro cultivares de haba de Turquía en los ciclos 2009 y 2011.

## 2.4 Conclusiones

La siembra y evaluación del cultivo en meses y años diferentes permitió observar la interacción genotipo por ambiente. Parámetros como días a floración, días a inicio de formación de vainas, días a madurez y número de flores por inflorescencia permanecieron constantes en ambos periodos, mientras que el número de vainas por planta y peso de semillas por planta, dos componentes del rendimiento, fueron mayores en la siembra de abril del ciclo primavera-verano 2012 con respecto a la siembra de febrero del año siguiente, al igual que la altura de planta y el número de tallos. Se detectaron correlaciones significativas entre las etapas de desarrollo del cultivo (IF, IFV y DM), además de los componentes peso de semillas con número de vainas

La variación fue significativa en todos los parámetros evaluados. Las líneas sobresalientes florecieron a los 53 días en *V. faba* tipo *minor* y a los 54 días en *V. faba* tipo *equina*. El menor número de días a formación de vaina se presentó en *V. faba* tipo *minor* con 61 días y en *V. faba* tipo *equina* con 63 días. El menor número de días a madurez se presentó a los 122 días en líneas de ambas variedades botánicas. Las líneas con la altura más adecuada oscilaron entre los 95 y 110 cm encontrándose en ambas variedades botánicas. El mayor número de flores por inflorescencia se presentó en *V. faba* tipo *minor* con 5 flores y en *V. faba* tipo *equina* con 6. En 2013, el número de tallos osciló entre 5 y 6 en las tres colectas. La mayor cantidad de vainas fue de 71 a 91 vainas en *V. faba* tipo *minor* y de 73 y 89 vainas en *V. faba* tipo *equina*. El mayor peso de semilla en *V. faba* tipo *minor* fue de 128.8 g a 165.2, y en *V. faba* tipo *equina* fue de 130.0 g a 159.0 g.

La variación genotípica presente en las colectas y la presión de selección del 10 % aplicada en base a sanidad, componentes del rendimiento y aspecto de la planta permitió la selección de 60 líneas sobresalientes de acuerdo al peso de semilla por planta en el ciclo primavera-verano 2012, hicieron posible la identificación de líneas sobresalientes para iniciar un programa de mejoramiento tales como 'MON12-56', 'MON12-102' de *V. faba* tipo *equina* con 132.6 g y 130.6 g, respectivamente. Mientras que en *V. faba* tipo *minor* sobresalen 'MON12-92' de la colecta 1, 'MON12-70' y 'MON12-166' de la colecta 2 con 104.2 g, 144.0 g y 141.0 g, respectivamente, que además maduraron en tan solo 122 días.

## 2.5 Literatura citada

- Abadie T and S Ceretta (1997)** Exploring crop adaptation through the study of multi environment trials (METs) Third South American oats Congress. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. INIA. Uruguay. Pp 35-40.
- Adisawanto T, R Knight (1997).** Effect of sowing date and plant density on yield and yield components in the faba bean. *Australian Journal Agricultural and Research*. 48: 1161-1168.
- Aquesolo K I (2013)** Efecto de las heladas de invierno y primavera en habas para congelado mediante simulación real. Tesis de Maestría. Universidad Pública de Navarra. 75 p.
- Alan O, H Geren (2007)** Evaluation of heritability and correlation for seed yield and components in faba bean (*Vicia faba* L.) *Journal Agronomy* 6(3): 484-487.
- Al-Reface M, M Turk, A Tawaha (2004)** Effect of seed size and plant population density of yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L. mayor). *International Journal of Agriculture and Biology*. 2:294-299.
- Agung S, G K Mc Donald (1998)** Effects of seed size and maturity on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*. 49:79-88.
- Bakry B A, T A Elewa, M F El-Karamany, M S Zeidan and M M Tawfik (2011)** Effect of row spacing on yield and its components of some faba bean varieties under newly reclaimed sand soil condition. *World Journal of Agriculture and Science*. 7(1):68-72.
- Bascur B, G (1997)** Adaptación de la variedad de haba (*Vicia faba* L.) Portuguesa-INIA para producción en grano seco y uso agroindustrial en la zona centro de Chile. *Agricultura Técnica* (Chile). 57(1):70-76.
- Bianco V (1990)** Fava (*Vicia faba* L.) In: Orticultura. Bianco V and Pimpini F (Eds) Patron Editore, Bologna, Italia. 672-700 p.
- Boote K J, M I Mínguez, F Sau (2002)** Determination of green pod yield and some pod characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar/lines grown in different row spacing. *Acta Horticultura*. 579:347-350.
- Bozoglu A P, E Peksen, A Gülümser (2002)** Determination of green pod yield and some pod characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar/lines grown in different row spacing. *Acta Horticultura*. 579:347-350.

- Camacho C O, D del Valle P, G A Ruelas A (1992)** SAS (Statistical Analysis System) para microcomputadoras. Gloria Arroyo Cervantes (ed.) México. 174 p.
- Campos E A, P Vargas V, J A Acosta G (1993)** Rendimiento y características agronómicas de cinco poblaciones de haba (*Vicia faba*) en los Valles Altos de la Mesa Central de México. *Agricultura Técnica Mexicana*. 22(2):175-185.
- Cubero, J I (1984)** Taxonomy, distribution and evolution of the faba vean and its wild relatives. In: Genetic Resources and their exploitation- Chickpeas, Faba beans and Lentils. J R Witcomb, W Erskine (eds.) The Netherlands. 131 – 144 p.
- Cruz I, S (2009)** Identificación de genes y QTLs relacionados con la domesticación y el rendimiento en la especie *Vicia faba*. Relaciones de sintenia con otros cultivos relacionados. Tesis de Doctorado. Universidad de Córdoba, España. 194 p.
- Confalone A, E (2008)** Crecimiento y desarrollo del cultivo del haba (*Vicia faba* L.) Parametrización del submodelo de fenología CROPGRO-Fababean. Tesis de Doctorado. Universidad de Santiago de Compostela. Chile. 189 p.
- Pérez L D J, A González H (2003)** Cultivo y mejoramiento de haba. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. México. 101 p.
- de la Vega A J, E B de la Fuente (2003)** Producción de granos bases funcionales para su manejo. Elección en genotipos. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Argentina. 14: 319-349.
- Derya O, Y (2013)** Optimal intra-row spacing for production of local faba bean (*Vicia faba* L. *major*) cultivars in the Mediterranean conditions. *Pakistan Journal of Botany*. 45(6):1933-1938.
- Díaz B M, B E Herrera C, J Ramírez J, M Aliphat F, A Delgado A (2008)** Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la Sierra Norte de Puebla, México. *Interciencia*. 33(8):610.615.
- Díaz R, R (2009)** Diversidad morfológica de las habas (*Vicia faba* L.) cultivadas en regiones productoras de México y rendimiento de grano. Tecnologías de granos y semillas. Universidad Autónoma Indígena de México. CIIDIR-IPN Unidad Sinaloa, Colegio de Postgraduados Campus Puebla. 263-278 p.
- Duc G (1997)** Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 53:99-109.

- Duc G, S Bao B, M Baumc, B Redden D, M Sadikie, M J Suso F, M Vishniakova G, X Zong (2010)** Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources. *Field Crops Research*. 115:270–278.
- Franco M O, D J Pérez L, A González H (1998)** Rendimiento de semilla y otros componentes morfológicos en nueve variedades de haba (*Vicia faba* L.) *Ciencias Agrícolas*. 10:12-21.
- Gautier HRM, P Prusinkiewicz, C Varlet G (2000)** 3D architectural modeling of aerial photomorphogenesis in White clover (*Trifolium repens* L.) using L-systems. *Annals of Botany*. 85(3):359-370.
- Grashoff C (1990)** Effect of pattern of water supply on *Vicia faba* L. Dry matter partitioning and yield variability. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 38:21-44.
- Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. ICAMEX (2007)** Tecnología de producción del cultivo del haba. Región Centro. México. 67 p.
- Jasso M J, L Pimentel B (1985)** Establecimiento de áreas verdes en el predio Montecillo aledaño a Chapingo. III Reunión Nacional Forestal. INIFAP. México. 606-640 p.
- Loomis R, S (1983)** Limitations to efficient water use in crop production. In: Crop manipulations for efficient use of water. H M Taylor, W R Jordan, T R Sinclair (eds.) American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA) and Soil Science Society of America (SSSA). Madison, Winconsin. 345-374 p.
- Loreto A, J M (2011)** Evaluación agronómica de la fecha de siembra en habas determinadas (*Vicia faba* L. var. *major*) en Valdivia, Región de los Ríos. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 52 p.
- López B F J, L López B, R J López B (2005)** Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy*. 23: 359-378.
- López, R M (1997)** Evaluación de 15 genotipos de haba *Vicia faba* L. en la comunidad de Dolores Enyeje, Ixtlahuaca, México, bajo condiciones de riego. ICAMEX, Metepec, México.
- López R M, S Muciño S, M E Guadarrama G (2011)** Evaluación de genotipos de haba (*Vicia faba* L.) II Congreso Nacional del Cultivo del Haba. México. 498 p.

- López R M, S Muciño S, M E Guadarrama G (2011)** Evaluación de genotipos de haba (*Vicia faba* L.) tolerantes a pudrición radicular. II Congreso Nacional del Cultivo del Haba. México. 498 p.
- López R M, S Muciño S, M E Guadarrama G (2011)** Evaluación de genotipos de haba (*Vicia faba* L.) con bajo contenido de taninos. II Congreso Nacional del Cultivo del Haba. México. 498 p.
- Márquez, S, F (1976).** El problema de la interacción genético-ambiental en genotecnia vegetal. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Fitotecnia. Ed. Patena. D F, México. 113 p.
- Martell A F, A J Díaz (2000)** Ensayo para conocer la adaptación de 4 cultivares de haba. Proyecto leguminosas. Estación experimental Andes. Bolivia. 7 p
- Molina, G J D (1992)** Genética de poblaciones y cuantitativa. AGT editor. México. 349 p.
- Mosa A, T H (2012)** Phenotypic characterization of faba bean (*Vicia faba* L.) landraces grown in Palestine. Tesis de Maestría. An-Najah National University. 39 p.
- Musallam I W, G Al-Karaki, K Ereifej, A R Al-Tawaha (2004)** Yield and yield components of faba bean genotypes under rainfed and irrigation conditions. *Asian Journal Plant Science*. 3(4):439-444.
- Mwanamwenge J, S P Loss, K H M Siddique, PS 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*. 11(1):1-11.
- Nachi N, J Le Guen (1996)** Dry matter accumulation and seed yield in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Agronomie: Agriculture and Environment*. 16:47-59.
- Orozco C N, D J Pérez L, A González H, O Franco M, F Gutiérrez R, M Rubí A, Á Castañeda V, A Balbuena M (2013)** Identificación de poblaciones sobresalientes de haba colectadas en el Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4(6):921-932.
- Osman A A M, S O Yagoub, O A Tut (2010)** Performance of faba beans (*Vicia faba* L.) cultivars grown in new agroecological region of Sudan (Southern Sudan). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 4(11):5516-5521.

- Peña P, R (2011)** Evaluación de selecciones de haba variedad *major* (*Vicia faba* L.) en una localidad del suroeste de Tlaxcala. II Congreso Nacional del Cultivo del Haba. México. 498 p.
- Pichardo, R J C, J A Escalante E, M Rodríguez G, P Sánchez G (2007)** Aplicación dividida y eficiencia agronómica de nitrógeno, uso de agua y radiación, y rendimiento de haba. *Terra Latinoamericana*. 25(2):145–154.
- Pichardo R, J C (2010)** Crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en ambientes contrastantes. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, México. 344 p.
- Pilbeam C J, D Duc, P D Hebblethwaite (1990)** Effects of plant population density on spring-sown field beans (*Vicia faba*) with different growth habits. *Journal of Agricultural Science*. 114: 19-33.
- Polignano G B, E Alba, P Ugenti, G Scippa (1999)** Geographical patterns of variation in Bari faba vean germplasm collection. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 46:183-192.
- Rojas T J, R Díaz R, F Alvarez G, J Ocampo M, A Escalante E (2012)** Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores en Puebla y Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(1):35-49.
- Ruíz C J A, G Medina G, I J González A, C Ortiz T, H E Flores L, R Martínez P, K F Byerly M. (1999)** Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Libro Técnico No. 3. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. INIFAP. México. 324 p.
- Ruíz R, M (2003)** Alameda: Un modelo Estructural-Funcional del cultivo de *Vicia faba* L. Tesis de Licenciatura. Universidad Politécnica de Madrid. España. 248 p.
- Sliman, Z (1993)** Response of faba beans (*Vicia faba* L.) to seeding date in Central Region of Saudi Arabia. Department of Plant Production. King Saud University. *Agriculture Science*. 5(2):219-226.
- Singh V P, S Tomer Y (1988)** Influence of flower color on seed yield and yield components in faba beans. *FABIS Newsletter*. 22:7-9.
- Stützel H (1995)** A simple model for simulation of growth and development in faba beans (*Vicia faba* L.): I. Model description. *European Journal of Agronomy*. 4:175-185.

**Solórzano V, E (2011)** Descripción y caracterización agronómica de la colecta de Can-110 para su posible registro. II Congreso Nacional del Cultivo del Haba. México. 498 p.

**Terzopolus P J, Kaltsikes P J, Bebeli P J (2004)** Characterization of Greek populations of faba bean (*Vicia faba* L.) and their evaluation using a new parameter. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 51:655-662.

**Tornero C M A, R J Contreras, C B V Peña (1993)** Tecnología agrícola para la producción de haba. Región de Llanos Serdán, Puebla. Colegio de Postgraduados. 17 p.

## CAPÍTULO 3. CALIDAD EN LA SEMILLA Y CARACTERIZACIÓN NUTRIMENTAL

### 3.1 Introducción

Una estrategia para mejorar la productividad y la rentabilidad de un cultivo es evaluar diferentes variedades e identificar aquellas que superen a los cultivares tradicionales (Pichardo *et al.*, 2007) con el objetivo principal de incrementar el rendimiento y la calidad del cultivo, basados en las necesidades del agricultor y el consumidor final, para obtener nuevas variedades (Sotolongo *et al.*, 2012). En Puebla, los agricultores han contribuido de manera tradicional al mejoramiento del haba ya que la han ido seleccionando de manera recurrente en base a tres aspectos de interés: (1) la planta, (2) el ambiente y (3) la semilla.

La sanidad de grano es el principal aspecto que los agricultores consideran, toda vez que garantiza su germinación y se asocia con un buen aspecto para su consumo y venta. Otros aspectos que también toman en cuenta son el tamaño de semilla y su color, prefieren las pequeñas de color amarillo fuerte con floración temprana, que producen un caldo más atractivo al cocinarlas, sobre las 'Terragonas' que son habas grandes de color moteado. Solo un pequeño porcentaje de campesinos mayores a 62 años (5 a 7 %) realizan esta selección integrando los tres factores (planta, ambiente y semilla), por lo que se les considera como los responsables de la diversidad de *Vicia faba* presente en la Sierra Norte de Puebla (Díaz *et al.*, 2008).

Así mismo, en los municipios de Ciudad Serdán, Tlachichuca, San José Llano Grande, San Miguel Zoapan en Puebla y Españita en Tlaxcala, los agricultores siembran *V. faba* tipo *mayor*, conocida como 'Terragona', y *V. faba* tipo *equina*, denominada 'Cochinera'. Para ello seleccionan su semilla 20 o 30 días antes de la siembra, 96 % de los productores consideran la sanidad de la semilla, 79 % la dureza de la testa y 74 % el peso de la semilla, como principales características. Sin embargo, no se lleva a cabo selección directa en campo y características

como resistencia a enfermedades, plagas y virus no son tomados en cuenta (Rojas *et al.*, 2012).

Para llegar al consumidor final las habas deben ofrecer una serie de cualidades que determinan su calidad. La **calidad en la semilla** se define como el conjunto de características que el consumidor evalúa para decidir si satisface sus expectativas. Dichas cualidades generalmente se basan en la apariencia física, calidad fisiológica, sanitaria y genética (FAO, 2011), siendo particularmente importantes para comercializar la semilla. Cuando el haba es para consumo, las características que se evalúan son color, tamaño, peso, densidad, capacidad de absorción, tiempo de cocción, color de caldo, por mencionar algunos. Mientras que en la **caracterización nutrimental** se determinan sus componentes bioquímicos que varían dependiendo de su ciclo de desarrollo fisiológico, entre ellos están la cantidad de proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales presentes, así como el contenido de agua.

A simple vista el haba puede seleccionarse por su color de la testa, sin embargo, también son deseables características físicas como un alto peso de 100 semillas, una rápida absorción de agua, un corto tiempo de cocción que genere un alto porcentaje de sólidos en caldo, además de características intrínsecas a la semilla como un alto contenido de proteínas y un bajo contenido de taninos razón por la cual se llevo a cabo el análisis de calidad y nutrimental de las colectas evaluadas.

### **3.1.1 Calidad en la semilla**

El color es el primer atributo que el consumidor percibe de un alimento (Sáenz, 1989). A pesar de la preferencia del consumidor por las semillas amarillas, el haba presenta una amplia diversidad de colores que va desde púrpura hasta el café, verde, beige, marrón claro, amarillo, gris o punteado (Duc, 1997; Robertson *et al.*, 1991). Los colores café claro y beige se encuentran en mayor proporción (91 %) entre las accesiones resguardadas por el ICARDA (Nasar-Abbas *et al.*, 2009). El haba color amarillo es la más comercial, razón por la cual es sembrada por los

agricultores en una mayor superficie, la forma que han ideado para introducir las habas de color oscuro en el mercado es eliminar la testa (Maya, 2009).

La testa es la cubierta dura que rodea a la semilla de haba, está formada por una capa interna, una externa de cutícula y una o más capas de tejido de protección (Vázquez *et al.*, 1997) lo que le confiere cierto grado de impermeabilidad al agua y a los gases, ejerce cierta acción reguladora sobre el metabolismo y el crecimiento de la semilla (Vázquez *et al.*, 1997). Avola *et al.* (2009) encontró en *V. faba* tipo *mayor* de Sicilia ('Larga di Leonforte') que las semillas con testa más gruesa ofrecen una mayor resistencia al paso del agua que las semillas con tegumento delgado, encontró que el porcentaje de testa en promedio fue de 15.9 %. Además determinó que la cinética de absorción y de cocción se ven afectadas por el tamaño de la semilla, el contenido de proteínas, el contenido de taninos y el calcio que posea.

El remojo de las semillas de leguminosas para consumo humano constituye un paso previo a otros procesos como la germinación o cocción (Chau *et al.*, 1997). La imbibición o germinación empieza con la toma de agua por la semilla y finaliza con el inicio de la elongación del eje embrionario (Román, 2000), dicho proceso desencadena una secuencia de cambios metabólicos en la semilla que incluyen la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas (Chong *et al.*, 2002). Avola (2009) determinó que la capacidad de absorción en *V. faba* tipo *mayor* 'Larga di Leonforte' de Sicilia presentó una variación entre genotipos desde 133 hasta 153 %, se encontró una correlación positiva entre la capacidad de absorción de agua por la semilla con el contenido de proteína y la cantidad de ceniza.

La cocción en el haba es importante ya que es la única manera en que el organismo humano puede digerirla (Anangono, 2006) este proceso gelatiniza el almidón y aumenta la disponibilidad de las proteínas y los almidones (Charley, 1999). Al respecto, Avola *et al.* (2009) indicó que tan sólo seis de las quince variedades de haba de Sicilia que analizó presentaron una firmeza óptima para consumo tras 40 minutos de cocción posterior a su remojo por 24 horas.

### 3.1.2 Caracterización nutrimental

A nivel mundial, el haba es importante porque aporta el 20 % de la proteína vegetal (Deshpande *et al.*, 2001). El haba, al ser parte de las leguminosas, presenta una alta concentración de proteínas, que al consumirse en conjunto con gramíneas como el maíz complementan los aminoácidos necesarios en la dieta del ser humano. En cuanto a contenido proteínico, *Vicia faba* es rica en los aminoácidos lisina, metionina y cisteína pero pobre en aminoácidos azufrados como el triptófano y la treonina (Sjödín *et al.*, 1981; Baudet, 1980).

En este rubro la composición de *Vicia faba* está en alrededor de 25% a 35 % de proteínas, 50 a 60 % de carbohidratos, un bajo contenido de lípidos, además de vitaminas como tiamina, tocoferoles, niacina y ácido fólico y los minerales: sodio, calcio, potasio, cobre, zinc, fierro, manganeso y magnesio (Santidrián, 1981; Mataix, 1985; Khalil, 1995).

El valor nutrimental de la semilla es variable dependiendo del genotipo y de las condiciones climáticas donde se desarrolla. Así, el estudio de 12 cultivares sembrados en la Universidad Saskatchewan, Canadá presentó una variación entre 26 al 35 % de proteína, de 55 a 61 % de carbohidratos principalmente constituidos por almidón (28 a 40 %) y de 6.4 a 8.4 % de fibra (Bhatty, 1974), mientras que el análisis realizado en cultivares de Europa indicó de 25 a 35 % de proteína, constituidas por globulinas (60 %), albúminas (20 %), gluteínas (15 %) y prolaminas; la presencia de carbohidratos entre un 50 y 60 %, lípidos entre un 1 y 2.5 % y el contenido de 1 a 3.5 % de minerales, constituido en su mayoría por calcio y hierro (Cubero *et al.*, 1983).

Otro factor que influye en la composición química de la semilla es el régimen de agua presente en su desarrollo, un estudio realizado con 12 genotipos de *Vicia faba L.* en Arabia Saudita encontró que los cambios en el régimen de agua (13200, 7600 y 4800 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) generaron una alta variabilidad en los nutrientes presentes en la semilla. El contenido de proteína varió de 31.8 % a 39.1 %, los carbohidratos de 42.2 a 47.6 %, mientras los lípidos estuvieron presentes de 1.50 a 2.12 %. Observándose una mayor concentración de proteína en las plantas

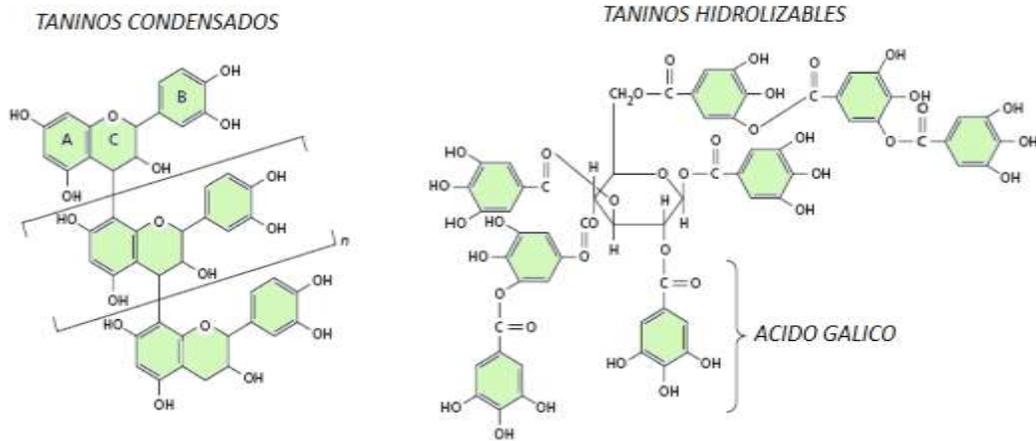
sometidas a un régimen de agua menor ( $4800 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) además de un menor rendimiento debido probablemente al estrés hídrico generado (Alghamdi, 2009). Así mismo, el ambiente tiene un fuerte efecto sobre la composición del haba, su desarrollo se vio afectado al crecer bajo condiciones de sequía o riego, observándose variaciones considerables en la composición de almidón, lípidos y fructosa en genotipos crecidos en Jordania bajo dichas condiciones. El contenido de proteínas, almidón y fibra fue más alto al sembrarse en condiciones de riego, mientras que los carbohidratos y lípidos tuvieron mayor presencia en condiciones de sequía (Musallam *et al.*, 2004).

Además del valioso aporte de nutrimentos del haba, las semillas también presentan algunos factores que limitan su valor nutrimental, como es la deficiencia de aminoácidos azufrados y compuestos como taninos, fitatos, inhibidores de proteasas y lectinas ya que afectan la absorción de carbohidratos y proteínas (Motilva *et al.*, 1983).

Los taninos son compuestos fenólicos solubles en agua, alcohol y acetona, originados del metabolismo de flavonoides (Figura 8). Se clasifican en taninos hidrolizables y taninos condensados. Dentro de los primeros están los taninos gálicos y los elagitaninos que se encuentran en fresas, frambuesas, moras y habas (Chung *et al.*, 1998). Mientras que los taninos condensados o no hidrolizables se encuentran ampliamente repartidos en los vegetales, en familias como *Coniferae*, *Labiatae*, *Fabaceae*, *Myrtaceae*, *Poligonacea*, *Rosaceae*, *Rubiaceae*, *Ericaceae*, donde contribuyen a la función protectora de leños y cortezas al precipitar las proteínas (Maya, 2009)

Los taninos actúan inhibiendo la absorción de azúcares, los taninos condensados interactúan con las proteínas de la dieta reduciendo su digestibilidad al unirse con los aminoácidos metionina o lisina y con las proteínas del tracto digestivo de cerdos lo que aumenta la secreción de proteínas endógenas (Davis, 1981; Jansman *et al.*, 1995) tiene una mayor afinidad por las proteínas que por los carbohidratos (Butter *et al.*, 1999), los inhibidores de proteasas reducen la actividad de las enzimas digestivas, los fitatos actúan reduciendo la concentración

de zinc en sangre, el cual es indispensable para el sistema inmune (Motilva *et al.*, 1983), mientras que las lectinas pueden causar aglutinación de las células rojas de la sangre, seguido de hemólisis (Liener *et al.*, 1986).



**Figura 8.** Estructura química de los taninos condensados e hidrolizables. Tomado de Maya, 2009.

La cocción de la semilla o su germinación previa al consumo tiene como finalidad la eliminación o disminución del efecto causado por los factores antifisiológicos mencionados. La cocción por 45 minutos de habas con testa de variedades locales de Alejandría posterior a su remojo por 12 horas, disminuyó el contenido de taninos y ácido fítico de un 55 a 60 % y de 31 a 41 %, respectivamente. Así mismo, la actividad de hemaglutinina se eliminó por cocción, mientras que la actividad inhibitoria de la tripsina se redujo por ambos métodos: cocción y germinación (Khalil *et al.*, 1995)

Aunque se considera a los taninos como factores antifisiológicos, en bajas concentraciones pueden presentar actividad antioxidante ya que son capaces de capturar las especies reactivas de oxígeno (Jansman, 1995; Davis, 1981). Asimismo se ha encontrado que el ácido tánico presente en las semillas de cebada, maíz y soja contribuye al aprovechamiento de las proteína y el almidón en rumiantes (Martínez, 2001).

La concentración de taninos en la semilla se asocia con el color de la testa que va de 5.8 a 7.6 % (Van der Poel *et al.*, 1991), estos compuestos existen también en

los cotiledones, aunque en menor proporción (0.56 a 0.65 %) la concentración se reduce parcialmente tras la cocción, así *V. faba* variedad 'BB7' pasó de 1.12 g / 100 g en semilla seca a 0.50 g / 100 g (Sarah *et al.*, 2009). Su presencia o ausencia en el genotipo se asocia con una mayor resistencia a enfermedades y la obtención de flores de color en campo, ya que las variedades conocidas como "cero-taninos" poseen flores blancas; éstas son homocigo recesivas para los genes *zt-1* o *zt-2* que bloquean la síntesis de antocianinas o sus precursores (Cabrera *et al.*, 1986; Duc *et al.*, 1999; Gnanasambandam *et al.*, 2012)

El contenido de taninos permite conocer indirectamente el valor nutricional de las semillas, toda vez que se relaciona negativamente con el contenido de proteína (Deshpande *et al.*, 1986). Jordán (2011) determinó su variación entre 2.6 % y 11.2 % en diferentes variedades de haba colectadas en los estados de Puebla, Oaxaca, Tlaxcala y Guerrero, fueron las variedades 'V-44' y 'V-45' las de menor contenido y las mayores fueron 'V-5' y 'V-12', quien inició una línea de mejoramiento basada en ese carácter. En cuanto al color, las habas 'Parraleñas' (*V. faba* tipo *mayor*) presentaron 3.9 % de taninos, seguidas de las habas de testa roja (4.3 %), las habas de color crema (6.6 %), las habas marrón (6.9 %) y las habas amarillas con 7 % de taninos. En las plantas, los taninos actúan como mecanismos de defensa contra plagas y patógenos (Martín *et al.*, 1991).

Además de los taninos, Agurto (2012) indica la presencia de otros compuestos fenólicos tipo flavonoide pertenecientes a las familias de los flavanoles tales como prodelfidinas, prociandinas, (+)-Catequina, (-)-Epicatequina y la familia de los flavonoles, como quercetina y miricetina. Las prodelfidinas fueron las más abundantes en los cultivares 'Luz de Otoño', 'Verde Bonita' y 'Aguadulce' de España evaluados en Chile con concentraciones superiores a los 21 mg kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, se ha visto que el almacenamiento de las semillas por 12 meses a altas temperaturas (> 37 °C) conlleva una reducción en la concentración de polifenoles en la testa debido a que se acelera su degradación oxidativa, lo cual se correlaciona negativamente con la dureza de la semilla ya que afecta la permeabilidad al agua (Nasar-Abbas *et al.*, 2008).

### 3.2 Materiales y métodos

Los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP, Campo Experimental Valle de México. La población en estudio consistió de 60 líneas derivadas por selección en base a sanidad y rendimiento de tres colectas provenientes de los estados productores de Puebla y Oaxaca ,*además de los testigos Vicia faba mayor, minor, equina, paucijuga* los cuales se sembraron bajo un diseño de bloques completamente al azar durante el ciclo primavera-verano 2012 en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, se colocaron 10 individuos por surco, el origen del germoplasma se presenta en el cuadro 8.

**Cuadro 8.** Características y origen de las colectas analizadas.

DENOMINACIÓN	LOCALIDAD	ALTITUD	TIPO DE SEMILLA
COLECTA 1	Tepexilotla, Zoquitlán, Puebla	780 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>minor</i>
COLECTA 2	Tetela de Ocampo, Puebla	1760 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>minor</i>
COLECTA 3	Tlaxiaco, Oaxaca	2040 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>equina</i>

#### 3.2.1 Características de calidad

##### Color de testa de la semilla

Se determinó con un espectrofotómetro de reflectancia CM-5 marca Konica-Minolta (Japón). La medición se realizó por duplicado colocando una muestra representativa de cada línea seleccionada, se obtuvieron las variables **L\***, **a\*** y **b\*** del sistema CIELAB (Figura 9). Este sistema de gestión de color fue creado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), se basa en la obtención matemática de los colores mediante las variables: **L\***, **a\*** y **b\***. El nivel de claridad (**L\***) o luminosidad del color, va desde 0 para el negro hasta 100 para el blanco; **a\*** indica la posición entre el rojo (+) y el verde (-); mientras que **b\*** muestra la posición

entre amarillo (+) y azul (-) en una escala que oscila entre +60 y -60 (Konica, 2003; CIE, 2007).

El croma (**C**), conocido como saturación o intensidad de color, describe la viveza o apagado de un color de acuerdo con la cantidad de gris que contiene, se expresa como la longitud de una línea trazada desde dicho punto hasta el origen del sistema tridimensional (Konica, 2003; CIE, 2007). Valores altos de C indican matices puros, mientras que los valores bajos tienden a colores mate, se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Croma } C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

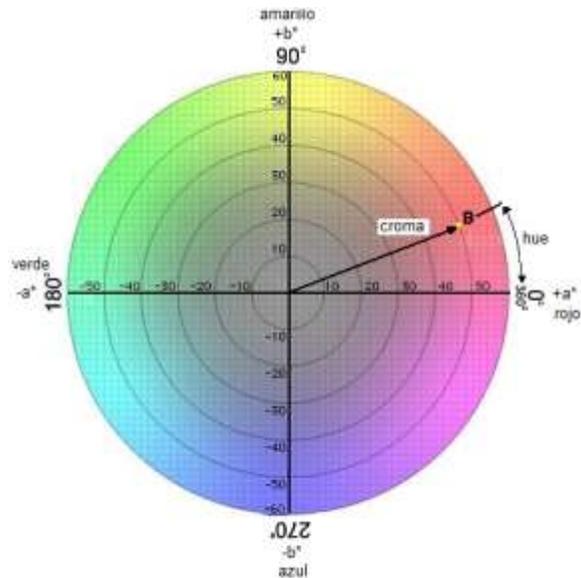


Figura 9. Diagrama cromático CIE L\*a\*b\*

El hue (**h°**), matiz o tono angular es el atributo que distingue un color de otro, lo que se asocia con la longitud de onda del color dominante, es decir, el recorrido que hace un tono a través del círculo cromático (rojo 28°, amarillo 90°, verde 164°, azul 232°, magenta 316° y sus combinaciones) por lo que varía entre 0° y 360°, se mide en dirección opuesta a las manecillas del reloj e inicia desde el eje +a\* (Konica, 2003; CIE, 2007). Dentro del espacio de color se representa como el ángulo que se forma entre el croma y el eje +a\*, se calcula con la fórmula:

$$\text{Hue } h^\circ = [\text{arc.tan}(b^*/a^*)] \times [180/\pi]$$

Una manera de evaluar la diferencia de color entre dos muestras es mediante la diferencia total de color ( $\Delta E$ ) (CIE, 1976). De acuerdo con la norma ISO 12647-2 (2004) valores superiores a 5 indican una diferencia evidente entre las muestras, mientras que valores menores a 3 serían similares. El cálculo se lleva a cabo a través de la siguiente fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

### **Peso de 100 semillas**

Se limpiaron y tomaron al azar 100 semillas de cada una de las 60 líneas que se pesaron en una Balanza Explorer Ohaus (Suiza).

### **Capacidad de absorción de agua**

La capacidad de absorción de agua se midió de acuerdo a la metodología indicada por Guzmán *et al.* (1995) se tomaron al azar 10 semillas sanas de cada una de las 60 líneas seleccionadas, las cuales se pesaron en una Balanza Explorer Ohaus (Suiza), posteriormente se les adicionaron 80 mL de agua destilada y se dejaron en remojo. Para obtener la cinética de absorción de agua después de transcurrida una hora, a la muestra se le retiró el agua y se eliminó el exceso con una sanita, para pesarlos nuevamente y obtener el peso de la semilla hidratada. A continuación se le agregó 80 mL de agua destilada, la operación se repitió cada hora durante 8 h continuas y después se dejaron en remojo hasta completar las 24 h. La capacidad de absorción de agua para cada hora se determinó con la fórmula siguiente:

$$\text{CAA} = \frac{(\text{Peso del Grano Hidratado}) - (\text{Peso del Grano Seco})}{\text{Peso del Grano Seco}} \times 100$$

A los granos remojados durante 24 h se les separó la testa. Los cotiledones y las testas se secaron por separado en un horno Precision Co. Thelco modelo 18 (Asheville, NC, USA) a 60 °C por 48 h, tras los cual se pesaron, el porcentaje de testa se obtuvo con la fórmula:

$$\% \text{ Testa} = \frac{\text{Peso Seco de Testa}}{(\text{Peso Seco de Cotiledones} + \text{Peso Seco de Testa})} \times 100$$

El ajuste de la curva de absorción se realizó mediante la regresión logística, con el modelo  $H = 1 / (1/H_{\text{máx}} + a \cdot b^t)$  donde  $H$  es el porcentaje de absorción de agua por la semilla,  $H_{\text{máx}}$  es el valor de máxima absorción al tiempo  $t$ ,  $a$  y  $b$  son parámetros relacionados con la absorción.

### **Tiempo de cocción**

Se dejaron en remojo 10 semillas de haba de cada línea durante 18 h en agua destilada a temperatura ambiente, tras lo cual se decantaron y se les eliminó la testa con un bisturí. Aparte, se calentaron 300 mL de agua destilada hasta ebullición en un vaso tipo Berzelius con la parrilla a 250 °C. Se adicionaron las semillas y se anotó la hora de inicio de ebullición y cada cierto tiempo se removían para hacerles una prueba sensorial mordiéndolos con los incisivos, oprimiendo entre la lengua y el paladar, para determinar el tiempo de cocción, considerado como el punto en el cual la semilla adquiere una textura granular suave.

### **Porcentaje de sólidos en caldo**

Basados en la metodología indicada por Guzmán *et al.* (1995). Vasos de precipitado de 50 mL fueron sometidos a peso constante en la estufa Lindberg Blue (Chicago, USA), una vez pesados y atemperados se les adicionó 10 mL del caldo de cocción obtenido de la prueba anterior y se pesaron. Posteriormente se secaron a 60 °C durante 24 h en horno Precision Co. Thelco modelo 18 (Asheville, NC, USA) y se obtuvo el peso del vaso con sólidos al pesarlo nuevamente. Dichos valores se sustituyeron en la fórmula:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{(\text{Peso Vaso con Sólidos} - \text{Peso Vaso Vacío})}{(\text{Peso Vaso} + 10\text{mL caldo}) - (\text{Peso Vaso Vacío})} \times 100$$

Del caldo obtenido se determinaron las variables  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  del sistema CIELAB con un espectrofotómetro de reflectancia CM-5 marca Konica-Minolta (Japón).

### **3.2.2 Caracterización nutrimental**

El análisis químico se realizó en la harina de las 20 líneas derivadas de cada colecta del ciclo Primavera-Verano 2012 y los cuatro testigos: *Vicia faba mayor*, *minor*, *equina* y *paucijuga*, la cual se obtuvo por la molienda de los cotiledones y las testas secas por separado en un Molino Cyclon Sample Mill, UDY Corporation (USA).

## Contenido de lípidos

Se analizó empleando el equipo de extracción de Goldfish (Kansas, Missouri, USA) con la metodología descrita en el AOAC 925.39C (1990). Inicialmente los vasos se pusieron a peso constante, aparte se pesaron 2 g de muestra dentro de un cartucho de papel filtro que se colocó en un dedal de extracción de celulosa. Se reflujo durante 4 h a temperatura baja del equipo con 25 mL de éter de petróleo, tras lo cual se evaporó el exceso de disolvente de los vasos con ayuda de una parrilla Thermolyne Type Iovo Stir Plate Sybron (Dubuque, Iowa, USA) y se desecó en estufa Lindberg/Blue (Chicago, USA), con paso de aire a 100 °C durante 35 min. Posteriormente se dejó enfriar en desecador y se pesó para obtener el peso del vaso con aceite, que se sustituyó en la fórmula:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{(\text{Peso Vaso con Aceite} - \text{Peso Vaso Vacío})}{\text{Peso Real de la Muestra}} \times 100$$

**Peso Real de la Muestra**

Para realizar la corrección por humedad en la muestra, se realizó la determinación correspondiente. Se colocaron 2 g de muestra molida en cajas de aluminio con tapa colocadas a peso constante, se dejó secar en horno Precision Co. Thelco modelo 18 (Asheville, NC, USA) a 100 °C durante 1:30 h. Tras lo cual se enfrió en el desecador y se pesó en la Balanza analítica Sartorius 1602MP (Alemania). La fórmula empleada para la determinación es la siguiente:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso de Caja con Muestra Húmeda} - \text{Peso de Caja con Muestra Seca}}{\text{Peso de la Muestra}} \times 100$$

**Peso de la Muestra**

La corrección por humedad se realizó con el cálculo siguiente:

$$\text{Peso Real de la muestra} = (\text{Peso de la muestra}) \frac{(100 - \% \text{ Humedad})}{100 \%}$$

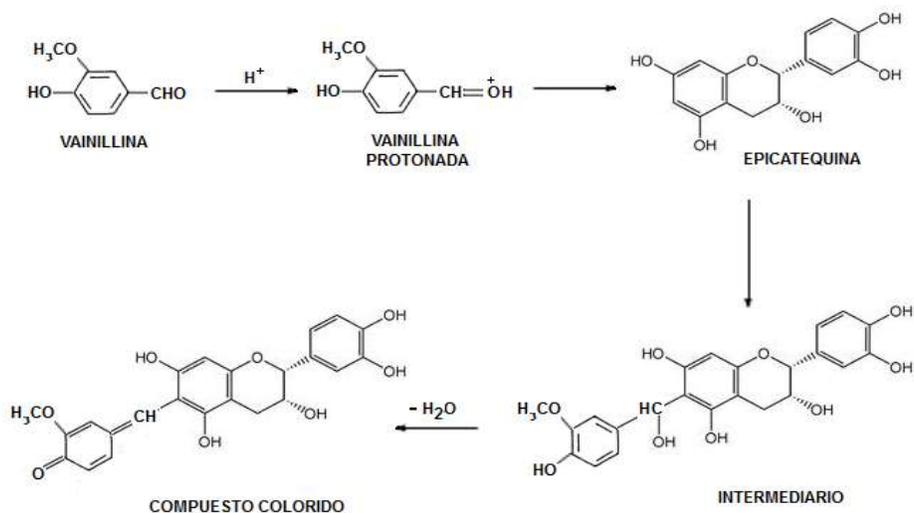
## Contenido de proteínas

De acuerdo con la metodología descrita en el AOAC 46.10 (2001), para realizar esta prueba se secaron previamente las muestras de las 60 líneas seleccionadas a 60 °C durante 3 h en estufa. Inicialmente se digirió la muestra, para ello se pesaron 500 mg de harina seca que se colocaron en tubos digestores de 250 mL a los que se añadió de 1.3 a 2.2 g de mezcla reactiva de selenio más 12 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se digirieron por 1 h a 400 °C en el Digestor System 20-1015 Tecator (Suecia) dentro de la campana con extracción constante. Al mismo tiempo se corrió un blanco de reacción y un testigo. Entonces se retiraron y enfriaron. El remanente obtenido se diluyó con 75 mL de agua destilada y se valoró en el equipo Kjeltac Auto1030 Analyzer (Suecia), que usa ácido clorhídrico 0.1N como solución titulante. En este caso la concentración del ácido clorhídrico fue de 0.863061 N. Para determinar la cantidad de proteína presente en la muestra se empleó la fórmula:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(\text{mL Titulante} - \text{mL Blanco}) \times 1.401 \times \text{Normalidad de HCl} \times 6.25}{\text{mg muestra}} \times 100$$

## Contenido de taninos en testa

Esta prueba se fundamenta en la elevada reactividad de los compuestos fenólicos con los aldehídos (vainillina) en medio ácido (Butler, 1982). La vainillina (4-hidroxibenzaldehído) se encuentra protonada en su grupo carboxilo, que en soluciones ácidas fuertes forma carbocationes electrolíticos capaces de reaccionar con el anillo del flavonoide en la posición 6 u 8 del polímero de tanino condensado. El producto intermedio de esta reacción se deshidrata rápidamente para dar un color rosa ligero a un intenso rojo cereza. El ensayo es específico para dihidrochalconas, proantocianinas y flavan-3-ol, mientras que polifenoles hidrolizables no dan reacción (Shahidi *et al.*, 1995; Shahidi *et al.*, 2004). La reacción que se lleva a cabo se presenta en la Figura 10.



**Figura 10.** Reacción de vainillina con los flavonoides

De acuerdo a la metodología indicada por Burns (1971). Se realizó una curva tipo de catequina (2 mg/mL en metanol). La cual se preparó con 10 mg de catequina, se diluyó y aforó a 5 mL con metanol, de donde se tomaron las alícuotas indicadas en el cuadro 9.

**Cuadro 9.** Preparación de la curva tipo de catequina.

mg Catequina	μL Soln. Catequina (2 mg/mL)	μL MeOH
1.000	500	500
0.750	375	625
0.500	250	750
0.250	125	875
0.125	62.5	937.5
0.0625	31.25	968.75
Blanco	0.00	1000

Se añadió a cada tubo 4 mL de agente cromogénico, el cual se preparó el día del análisis al mezclar partes iguales de una solución de ácido clorhídrico al 8 % en metanol y la solución de vainillina al 4 % en metanol. Entonces se incubaron en baño María a 30 °C por 20 min, se detuvo la reacción y se leyó su absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 10 UV Scanning marca Thermo Scientific (Madison, Wisconsin, USA) a una longitud de onda de 500 nm.

Para obtener las muestras, a 10 semillas de cada línea previamente remojadas por 18 h en agua destilada, se les retiró la testa con bisturí. La testa se secó 24 h a 60 °C en el horno Precision Co. Thelc modelo 18 (Asheville, NC, USA), tras lo cual se pulverizó en un Molino Cyclon Sample Mill, UDY Corporation (USA).

Se pesaron por duplicado 200 mg de testa molida, colocándolos en tubos de ensaye de 15 a 20 mL con tapa. A cada tubo se le adicionó 10 mL de una solución de ácido clorhídrico al 1 % en metanol, tras lo cual se agitó vigorosamente por 20 min. Se centrifugó por 30 min a 1000 g en equipo Biofuge Primo R Sorvall marca Thermo electron Co, (Alemania) y del filtrado se tomó una alícuota de 1 mL que se transfirió a tubo de ensayo con tapa, se le adicionó 4 mL de agente cromogénico. Se incubó en baño María a 30 °C por 20 min, se detuvo la reacción colocándola en un baño de agua con hielo y se leyó su absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 10 UV Scanning marca Thermo scientific (Madison, Wisconsin, USA) a una longitud de onda de 500 nm.

El contenido de taninos se reporta en mg equivalentes de catequina (mg EC) / 100 g de muestra seca, el cual se obtuvo al interpolar las absorbancias obtenidas en la curva tipo de catequina a través de la siguiente ecuación ( $y = ax + b$ ):

$$\text{absorbancia de la muestra} = (\text{pendiente}) (\text{mg EC en la muestra}) + \text{ordenada al origen}$$

Despejando, se tiene que:

$$\text{mg EC en la muestra} = \frac{\text{absorbancia de la muestra} - \text{ordenada al origen}}{\text{pendiente de la recta}}$$

Al considerar el volumen de extracción (10 mL de HCl al 1 % en MeOH), tenemos que:

$$\text{mg EC final en la muestra} = (\text{mg EC en la muestra} * \text{Volumen}) / \text{Peso de la muestra}$$

Finalmente se realizó la siguiente regla de tres:

$$\text{mg EC en 100 g de muestra} = (\text{mg Catequina final en la muestra} * 100 \text{ g}) / 0.200 \text{ g}$$

En el análisis estadístico se emplearon los programas Microsoft Office Excel 2007 y SAS System for Windows versión 9.0 (SAS, 2002), se determinó en cada característica la media, los valores máximo y mínimo, la desviación estándar y su coeficiente de variación. El análisis de varianza (ANOVA) se realizó agrupando las colectas 1, 2 y 3. En un segundo ANOVA se agruparon las colectas 1 y 2, ambas de tipo botánico *Vicia faba minor*, con su testigo, y la colecta 3 con el testigo *Vicia faba equina*. La comparación de medias se realizó con la prueba de Duncan ( $\alpha = 0.05$ ). Así mismo, se obtuvo una matriz de correlaciones de Pearson para las variables de calidad, nutrimentales y agronómicas. Se empleó la prueba de Krustal-Wallis y Friedman para determinar diferencia entre medianas cuando fue necesario. Se realizó un análisis de componentes principales en SAS para las variables de calidad y nutrimentales.

### 3.3 Resultados y discusión

#### 3.3.1 Características de calidad

##### Color de testa en la semilla

En el Cuadro 10 se observan las variables  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del color de la semilla, así como el croma y el hue° en tres colectas de haba, se reportan los promedios de las 20 líneas seleccionadas por colecta, además de la 'diferencia de color' entre ellas ( $\Delta E$ ).

En la escala de **claridad**, los colores que tienden a 100 contienen más blanco que aquellos con inclinación hacia cero, la colecta 2 perteneciente a la variedad *V. faba* tipo *minor* presentó las semillas más claras ( $L^*= 52.8$ ). Esta colecta tuvo diferencia significativa ( $p<0.01$ ) con respecto a la colecta 1 ( $L^*= 51.7$ ), que aunque pertenece a la misma variedad botánica, tiene un origen de colecta diferente (Tepexilotla, Zoquitlán, Puebla). Así mismo, la colecta 2 tuvo diferencia significativa ( $p<0.01$ ) con respecto a la colecta 3 ( $L^*= 50.9$ ) que pertenece a *V. faba* tipo *equina* y presentó un color más oscuro.

**Cuadro 10.** Variación de la claridad  $L^*$ , las variables  $a^*$ ,  $b^*$ , croma, hue° y la ‘diferencia de color’ ( $\Delta E$ ) se reporta el promedio de 20 líneas por colecta de *Vicia faba* sembradas en el Campo Experimental Montecillo en el ciclo primavera-verano 2012.

COLECTA	N	$L^*$	$a^*$	$b^*$
1 tipo <i>minor</i>	20	$51.7 \pm 0.04 b^1$	$+ 6.5 \pm 0.12 a$	$+ 23.5 \pm 0.02 a$
2 tipo <i>minor</i>	20	$52.8 \pm 0.04 a$	$+ 6.6 \pm 0.13 a$	$+ 23.2 \pm 0.03 a$
3 tipo <i>equina</i>	20	$50.9 \pm 0.04 b$	$+ 6.6 \pm 0.13 a$	$+ 22.6 \pm 0.04 b$

COLECTA	N	Croma	Hue°	$\Delta E$	
1 tipo <i>minor</i>	20	$24.4 \pm 0.03 a^1$	$74.6^\circ \pm 0.02 a$	C1 - C2	1.47
2 tipo <i>minor</i>	20	$24.2 \pm 0.03 a$	$73.7^\circ \pm 0.03 a$	C2 - C3	1.91
3 tipo <i>equina</i>	20	$23.6 \pm 0.04 b$	$73.7^\circ \pm 0.03 a$	C3 - C1	1.17

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre cultivares ( $p \leq 0.01$ ). Se presenta cada característica de color  $\pm$  coeficiente de variación. **N:** Número de líneas, **C1:**Colecta 1, **C2:** Colecta 2 y **C3:** Colecta 3

Las líneas con las semillas más claras  $L^*$  fueron ‘MON12-95’ (colecta 1) de la variedad *V. faba* tipo *minor* con 55.3 y ‘MON12-9’ (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 54.8. En el otro extremo, las líneas con las semillas más oscuras fueron ‘MON12-106’ (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 49.0 y ‘MON12-120’ (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 45.2. Estos valores difieren de los cultivares ‘Luz de Otoño’, ‘Verde Bonita’ y ‘Aguadulce’ provenientes de España y evaluados en Chile con valores de 70.0, 66.5 y 67.6, respectivamente, cuya claridad aumentó hasta 74.4, 72.0 y 72.6, al ir disminuyendo su humedad de cosecha de 75-80 % a 65-69 % (Agurto, 2012) ya que estos cultivares presentaron colores aun más claros que las líneas analizadas en esta investigación.

El signo positivo en la **variable  $a^*$**  de color indica que las tres colectas tendieron al rojo, a pesar de pertenecer a variedades botánicas diferentes, con un valor cercano a  $+ 6.5$ , por lo que no hubo diferencia significativa entre colectas. No obstante existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre el testigo *V. faba* tipo *minor* ( $+3.8 \pm 0.16$ ) con las colectas 1 y 2, ya que presentó menor intensidad de rojo.

En la **variable  $a^*$**  se tuvo tendencia al rojo en todas las líneas, tan solo variaron en la intensidad de rojo presente en las semillas. La líneas con menor intensidad

fueron 'MON12-100' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con + 4.6 y 'MON12-15' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con + 5.6. Mientras que las líneas con mayor intensidad de rojo fueron 'MON12-62' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con +8.2 y 'MON12-48' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con + 7.6. Estos valores son semejantes a los encontrados por Maya (2009) en la colección de haba del COLPOS de la Meseta Central de México en las variedades 'Zacatecas', 'Inglesa', 'COL-25', 'COL-89', 'COL-93', 'COL-160', 'COL-181' y 'COL-281' con testas rojizas. Sin embargo, difirieron de los encontrados por Agurto (2012) en las testas de los cultivares 'Luz de Otoño', 'Verde Bonita' y 'Aguadulce' provenientes de España y evaluados en Chile que tuvieron tendencia al verde ( $a^* = -15$ ) aún al irse deshidratando la semilla.

La presencia del signo positivo en la **variable  $b^*$**  de las tres colectas indica su tendencia al amarillo. La intensidad de amarillo en las colectas 1 y 2 (+23.5 y +23.2, respectivamente) pertenecientes a *V. faba* tipo *minor* fue mayor que la intensidad de amarillo presente en la colecta 3 (+ 22.6) de *V. faba* tipo *equina* por lo que hubo diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre ellas toda vez que se trata de clasificaciones botánicas diferentes. Así mismo, existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre el testigo *V. faba* tipo *minor* (+ 24.4  $\pm$  0.06) con las colectas 1 y 2, y entre el testigo *Vicia faba* tipo *equina* (+ 38.2  $\pm$  0.04) con la colecta 3, ya que los testigos tuvieron una mayor intensidad de amarillo.

Las 60 líneas seleccionadas tuvieron tendencia al amarillo, con diferencias en la intensidad de tono. Las líneas con menor intensidad fueron 'MON12-164' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con  $b^* = +21.5$  y 'MON12-120' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con  $b^* = +19.9$ , mientras que las líneas con mayor intensidad de amarillo fueron 'MON12-174' (colecta 2) con  $b^* = +25.4$  y 'MON12-102' de *V. faba* tipo *equina* con  $b^* = +23.8$ . Esto fue similar a lo reportado por Maya (2009) con valores de  $b^*$  entre + 25 y + 40 en las variedades 'Zacatecas', 'Inglesa', 'COL-25', 'COL-89', 'COL-93', 'COL-160', 'COL-281' y 'COL-288' pertenecientes a la colección de haba del COLPOS. Mientras que valores cercanos se obtuvieron en los cultivares 'Luz de Otoño', 'Verde Bonita' y 'Aguadulce', con tendencia al amarillo más que al azul, los cuales disminuyeron al avanzar la deshidratación de las semillas (Agurto, 2012).

En cuanto al **chroma**, valores altos indican matices puros, mientras que valores bajos apuntan a colores mate. Las tres colectas tendieron a colores mate al presentar un alto contenido de gris. Las colectas 1 y 2 pertenecientes a *V. faba* tipo *minor* tuvieron valores más elevados (24.4, 24.2, respectivamente) que la colecta 3 de *V. faba* tipo *equina* (23.6) por lo que existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre ellos, toda vez que pertenecen a variedades botánicas diferentes. Así mismo, se tuvo diferencia significativa entre el testigo *Vicia faba* tipo *equina* ( $38.9 \pm 0.04$ ) y la colecta 3, ya que el testigo tuvo un color más vivo.

Todas las líneas tuvieron tendencia a colores mate (**chroma**), las líneas con mayor cantidad de gris fueron 'MON12-120' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 20.9 y 'MON12-127' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 23.3, mientras que las líneas que presentaron colores más vivos fueron 'MON12-102' de *V. faba* tipo *equina* con 24.7 y 'MON12-174' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 26.3.

Con respecto al **hue**° que define al color de acuerdo a longitud de onda del tono dominante, las tres colectas estuvieron alrededor de los 74.0° por lo que tuvieron mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos. En *V. faba* tipo *minor* el hue° varió desde 74.6° en la colecta 1 hasta 73.7° en la colecta 2, debido a que hubo mayor proporción de tonos amarillos en la colecta 1 que en la 2, no habiendo diferencia significativa entre ellas. Sin embargo, existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre ambas colectas con respecto al testigo *V. faba* tipo *minor* (81.1°) debido a que presentaron menor proporción de tonos amarillos que el testigo. También existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre la colecta 3 (73.7°) y el testigo *V. faba* tipo *equina* (78.7°) ya que el testigo presentó mayor proporción de tonos amarillos que la colecta 3. Con la evaluación de las variables de color en la semilla fue posible corroborar que el color es una característica física que varía en relación con el cultivar y la variedad del cual proviene (Maya, 2009), así como de las condiciones edafoclimáticas y del manejo en las que fue producido (Sáenz, 1989).

Mediante el cálculo de la 'diferencia total de color' entre las colectas (C1-C2, C2-C3 y C3-C1) se determinó que son similares entre sí ( $\Delta E = 1.9$ ). El color de las

semillas en las colectas coincide con las 55 variedades locales de Grecia reportadas por Terzopolus *et al.* (2004) con testa color verde claro y marrón claro; además de las líneas<sup>-</sup> reportadas por Crepón *et al.* (2010) de color beige claro, verdoso o gris-verdoso, quien también indica líneas<sup>+</sup> de colores gris, negro, marrón, rojo, violeta, verde, amarillo o beige más oscuros, de las que formarían parte el testigo *V. faba* tipo *major* con semillas más oscuras ( $L^* = 31.5$ ), tonalidades rojizas ( $a^* = + 10.3$ ) y amarillas ( $b^* = + 16.7$ ) debido a su color moteado, y el testigo *V. faba* tipo *paucijuga* de color café oscuro ( $L^* = 20.4$ ), con tonalidades rojizas ( $a^* = + 4.8$ ) y amarillas ( $b^* = + 4.0$ ).

**Cuadro 11.** Calidad tecnológica de 3 colectas de *Vicia faba* y dos testigos botánicos, sembrados en el Campo Experimental Montecillo en el ciclo primavera-verano 2012. Cada característica fue tomada como el promedio de 20 líneas por colecta.

COLECTA	Contenido de Testa (%)	Peso de 100 semillas (g)	Capacidad de Absorción (%)	Tiempo de Cocción (min)	Sólidos en caldo (%)
1 tipo <i>minor</i>	13.9 ± 0.05 ab <sup>1</sup>	91.91 ± 0.10 a	91.89 ± 0.16 a	7.2 ± 0.25 a	0.30 ± 0.22 bc
2 tipo <i>minor</i>	12.6 ± 0.06 b	107.36 ± 0.09 b	92.21 ± 0.15 a	6.6 ± 0.21 a	0.34 ± 0.29 ab
Testigo <i>V. faba minor</i>	14.8 a	59.41 c	93.40 a	5.0 a	0.16 c
3 tipo <i>equina</i>	13.5 ± 0.07 ab	97.29 ± 0.07 a	91.55 ± 0.13 a	7.2 ± 0.15 a	0.38 ± 0.29 a
Testigo <i>V. faba equina</i>	14.8 a	111.83 a	100.66 a	11.0 b	0.37 a

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre cultivares ( $p \leq 0.05$ ). Se presenta cada característica ± coeficiente de variación. La determinación del tiempo de cocción se realizó en semillas sin testa tras 18 h remojo.

### Porcentaje de Testa

En el Cuadro 11 se presenta la variación del porcentaje de testa como el promedio de 20 líneas por colecta. El porcentaje en *Vicia faba* tipo *minor* varió desde 12.59 en la colecta 2 hasta 13.90 % en la colecta 1 debido a que tienen diferente origen, por lo que existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre ellas. También hubo diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) al comparar ambas colectas con el

testigo *Vicia faba* tipo *minor* (14.8 %) el cual tuvo un porcentaje de testa mayor. Así mismo, existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre las colectas 2 y 3 pertenecientes a variedades botánicas diferentes. Dichos valores son cercanos a los reportados por Demet *et al.* (2012) al analizar semillas de *Vicia faba* L. de Turquía (14.28 %) y en la variedad 'Alfred' de Rotterdam (Holanda) con 14.8 % (A.F.B. Van der Poel *et al.*, 1991). Al respecto, Avola *et al.* (2009) consideró que una testa más gruesa ofrece una mayor resistencia al paso del agua que un tegumento delgado. Sin embargo, Youseff *et al.* (1992) demostró que el fenómeno de dureza en la semilla se debe tanto a características de la testa como de los cotiledones.

Las líneas que tuvieron un menor porcentaje de testa fueron 'MON12-35' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 10.71 % y 'MON12-55' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 11.62 %, en contraste con las líneas 'MON12-164' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 15.52 % y 'MON12-50' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 14.86 % que tuvieron un porcentaje de testa alto. Valores similares de testa han sido reportadas por Avola *et al.* y Gresta *et al.* (2009) en variedades locales de Sicilia 'Larga di Leonforte' con porcentajes entre 14.5 % y 16.7 %. Al comparar el porcentaje de testa de las líneas seleccionadas, el peso de 100 semillas y la cinética de imbibición es posible observar que las semillas con menos porcentaje de testa y mayor peso de 100 semillas presentaron una mayor velocidad de absorción tal como se observa en la correlación ( $r = -0.619$ ,  $p < 0.01$ ) descrita más adelante.

### **Peso de 100 semillas**

En el Cuadro 11 se presenta la variación en el peso de 100 semillas como promedio de 20 líneas por colecta. Existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) en *Vicia faba* tipo *minor* ya que el peso en la colecta 1 fue de 91.91 g, mientras que en la colecta 2 fue de 107.36 g. Ambas colectas tuvieron diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) al compararlas con el testigo *Vicia faba* tipo *minor* (54.91 g) que tuvo un menor peso. Valores similares han sido reportados por Confalone (2008) en *Vicia*

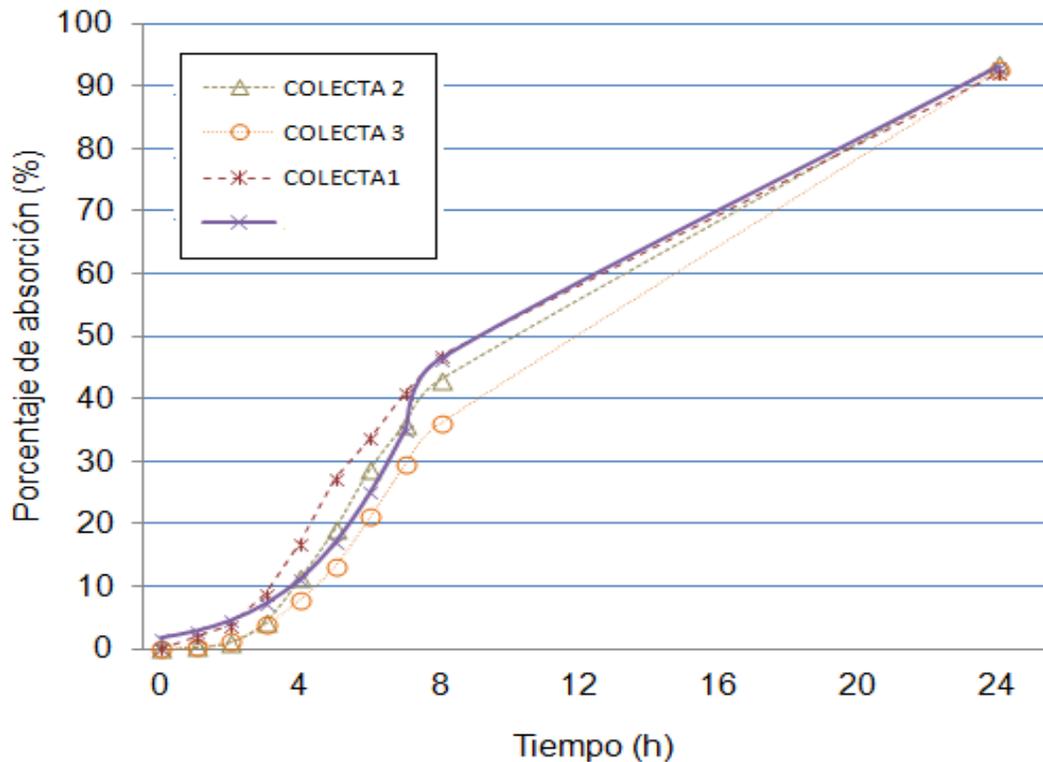
*faba* cultivar 'Alameda' con crecimiento determinado con 953.6 g en 1000 semillas. Sin embargo, difieren marcadamente de los pesos obtenidos en variedades de Puebla ('Col 288'), Palestina ('VF-4') y Sicilia (*Vicia faba major* variedad 'Larga di Leonforte') con pesos que oscilan entre los 239 g y los 275.1 g en 100 semillas (Avola *et al.*, 2009; Gresta *et al.*, 2009; Maya, 2009; Mosa, 2012).

Las líneas con menor peso de 100 semillas fueron 'MON12-164' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 79.60 g y 'MON12-101' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 85.50 g, los cuales se asemejan al peso reportado por Nasar-Abbas *et al.* (2009) en la variedad 'Fiesta' con 73.2 g en 100 semillas y son contrastantes con los pesos obtenidos en las líneas 'MON12-60' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 128.70 g y 'MON12-55' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 112.20 g. Pesos elevados también han sido reportados por Maya (2009) en la variedad 'Zacatecas' perteneciente a la colección de haba del COLPOS de la Meseta Central de México con 127.2 g; por Haciseferogullari *et al.* (2003) y Demet *et al.* (2012) en *V. faba* L. Var. *Major* provenientes de Turquía con 131 g en 100 semillas y 138.47 g, respectivamente. Esta variación tan amplia en el peso de 100 semillas es debida tanto a la genética de la planta como a factores externos. En la parte genética, Nachi *et al.* (1996) considera que en las habas con crecimiento determinado, el tallo contribuye con la producción de 50 % de asimilados para la semilla, mientras que en las indeterminadas esta contribución aumenta a 65 %, al presentar menos tallos y menor competencia por asimilados. Uno de los factores externos que afecta a la semilla es la fecha de siembra, Confalone (2008) obtuvo semillas más livianas en la siembra de primavera que en la siembra de otoño-invierno en el haba cultivar 'Alameda' con crecimiento determinado, Otro factor es la fertilización, al respecto Guadarrama *et al.* (2007) encontró que la aplicación de 20.5 % de nitrógeno y 46 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> durante la siembra en el haba 'Cochinera' incrementó el peso de 100 semillas al pasar de 164 g sin fertilización a 180 g con fertilización, reflejándose directamente en el rendimiento y la concentración de proteína. De esto podemos deducir que la elección de fechas adecuadas para la siembra

complementadas con labores culturales y fertilización durante el cultivo contribuiría en mejorar aún más el rendimiento obtenido.

### Cinética de imbibición

En la Figura 11 se presenta la curva de cinética de imbibición promedio de 20 líneas por colecta de haba.



**Figura 11.** Cinética de absorción de agua promedio de 20 líneas por colecta de *Vicia faba* sembradas en el Campo Experimental Montecillo durante el Ciclo Primavera-Verano 2012.

La curva de imbibición fue similar en las líneas de cada colecta, es posible observar tres etapas, **(1)** al inicio una lenta hidratación de las semillas durante las primeras 4 horas hasta alcanzar tan sólo el 20 % de absorción de agua, **(2)** la cual se ve incrementada desde la quinta hasta la octava hora llegando a un valor de 55 % y **(3)** aumenta progresivamente hasta alcanzar su máximo valor de 93 % en alrededor de 24 horas, ésta se presenta cuando la absorción del agua por la semilla cesa debido a que se ha alcanzado el equilibrio entre el agua libre y el

contenido de humedad en la semilla (saturación) de acuerdo con Abu-Ghannam *et al.* (1997). Sin embargo, el comportamiento obtenido en la cinética no refleja el modelo de absorción reportado por Gresta *et al.* (2009) y Avola *et al.* (2009), quienes emplearon la regresión asintótica en variedades de haba de Sicilia, donde se observa una rápida absorción en las primeras cuatro horas del análisis hasta llegar a un máximo tras lo cual se da una lenta absorción, en nuestro caso la semilla absorbe agua durante las ocho horas del análisis y continua absorbiendo agua aún después de este tiempo llegó a casi duplicar su peso al termino de las 24 horas en las tres colectas.

Cinéticas similares se han obtenido en otra leguminosa, *Phaseolus vulgaris* L. de Norte América (sitio no especificado) por Abu-Ghannam *et al.* (1997) quien analizó la hidratación de la semilla sin blanquear a 20, 30, 40 y 60°C, y determinó que la velocidad de absorción es afectada por factores como la temperatura y el tiempo, mientras que la tasa de absorción es afectada por factores genéticos como la dureza de la testa, ésta presenta cierta plasticidad que se rompe a altas temperaturas lo que permite una rápida absorción de agua. Aunado a las condiciones de almacenamiento, que hacen más lenta la velocidad de absorción si se realizaron a temperatura y humedad relativa elevadas (Jackson *et al.*, 1981).

Una respuesta similar se encontró en *Vicia faba equina* con una lenta velocidad de absorción al inicio de la prueba hasta la sexta hora, momento en que se da un aumento en la absorción observándose como una pendiente inclinada que continua incrementándose durante el tiempo restante de la prueba hasta alcanzar el 100 % de su peso. Caso contrario a *Vicia faba* tipo *minor* que presentó una lenta absorción durante toda la prueba, no obstante logró sobrepasar el 90 % de su peso transcurridas las 24 horas. Youseff *et al.* (1992) reportó una alta correlación entre el porcentaje de testa, el coeficiente de hidratación y el tiempo de cocción en habas de Egipto, lo cual estuvo en concordancia con la presente investigación, ya que se encontró que las semillas con menor porcentaje de testa presentaron una mayor velocidad de absorción.

## Capacidad de absorción

En el Cuadro 11 se presenta la variación de la capacidad de absorción de agua máxima o imbibición obtenida como el promedio de 20 líneas de haba por colecta después de 24 horas de remojo.

La capacidad de absorción máxima en *V. faba* tipo *minor* varió desde 91.89 % en la colecta 1 hasta 92.21% en la colecta 2, mientras que en *V. faba* tipo *equina* (colecta 3) fue de 91.55 % por lo que no hubo diferencia significativa entre colectas ni con respecto a los testigos a pesar de pertenecer a variedades botánicas diferentes. El remojo de las semillas es un paso previo a la cocción, durante la cual se da la reducción de ciertos componentes solubles en agua como oligosacáridos de rafinosa, glucósidos pirimidínicos, saponinas, inositoles fosfato, inhibidores de proteasas, lecitinas o taninos, que pasan al agua de remojo, sin embargo, su difusión puede verse impedida por la presencia de una testa gruesa y fuerte en la semilla (Chau *et al.*, 1997). Al respecto Muñoz *et al.* (2009), han indicado que la cantidad total de agua y/o solutos tomada por la semilla durante la imbibición es generalmente muy pequeña, no puede exceder de dos a tres veces su peso seco, por lo que la absorción de más de 80 % del peso de la semilla puede ser un indicador de que tenderá a suavizarse rápidamente durante la cocción, lo cual fue posible visualizar en las tres colectas.

Las líneas con baja absorción de agua fueron 'MON12-129' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 51.84 % y 'MON12-9' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 53.99 % que alcanzaron tan solo la mitad del peso de la semilla, en contraste a las líneas 'MON12-100' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 109.98 % y 'MON12-161' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 107.36 % que sobrepasaron el 100 % de su peso. Semillas de haba con una elevada absorción han sido reportadas por Demet *et al.* (2012) en variedades de Turquía con 1.09 g de agua g peso seco<sup>-1</sup> y por Avola *et al.* (2009) en variedades locales '2', '4', '5', '12' y '14' de Sicilia 'Larga di Leonforte' entre un 52 y 57 % Sin embargo, son superiores a las cinco variedades de Sicilia reportados por Gresta *et al.* (2009), cuya absorción fue del 33 %, probablemente porque la imbibición depende de varios factores como el

movimiento de agua hacia la semilla, su disponibilidad en el ambiente, así como la estructura y composición de la semilla (Simón, 1984).

### **Tiempo de cocción**

En el Cuadro 11 se presenta la variación del tiempo de cocción como el promedio de 20 líneas por colecta. En *Vicia faba* tipo *minor* el tiempo osciló entre 7.2 (colecta 1) y 6.6 min (colecta 2), mientras que en *Vicia faba* tipo *equina* (colecta 3) fue de 7.2 min, no hubo diferencia significativa entre ellas a pesar de pertenecer a variedades botánicas distintas. Sin embargo, existió diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el testigo *Vicia faba* tipo *equina* (11 min) y la colecta 3 (7.15 min). Los tiempos obtenidos fueron cortos y menores a lo reportado por Henderson *et al.* (1985) en *Vicia faba* tipo *minor* variedad 'Aladin' de Canadá, quien indicó en su metodología que requirió de 10 minutos en habas remojadas por 24 horas, de 20 minutos en habas remojadas por 8 horas y de 90 minutos en habas sin remojar para lograr su cocción. El tratamiento del haba con calor la hace digerible al organismo humano (Anangono, 2006) porque modifica la textura y mejora su sabor haciéndolas más apetecibles, al debilitar la unión del material intercelular (Charley, 1999), lo que también incrementa la concentración de los taninos y los compuestos fenólicos condensados y totales. Además de reducir la concentración de las saponinas, el ácido fítico, la vicina, la convicina, la L-DOPA y los inhibidores de tripsina, conocidos éstos últimos como factores antifisiológicos (Khalil *et al.*, 1995; Chau *et al.*, 1997; Shi, 2004; Maya, 2009).

Las líneas que presentaron un tiempo de cocción de 5 min fueron en la colecta 1 (*V. faba* tipo *minor*): 'MON12-106', 'MON12-132', 'MON12-164' y 'MON12-174'; en la colecta 2 (*V. faba* tipo *minor*): 'MON12-64', 'MON12-70', 'MON12-127', 'MON12-156' y 'MON12-178'; en la colecta 3 'MON12-50' (*V. faba* tipo *equina*). Mientras que las líneas que emplearon mayor tiempo en su cocción fueron en la colecta 1 (*V. faba* tipo *minor*): 'MON12-111' con 11 minutos; en la colecta 2 (*V. faba* tipo *minor*): 'MON12-19', 'MON12-30', 'MON12-60', 'MON12-62', 'MON12-66', 'MON12-

138' y 'MON12-166' con 8 minutos y de la colecta 3 (*V. faba* tipo *equina*): 'MON12-120' y 'MON12-166' con 9 minutos. Para obtener una textura suave, el haba pelada y remojada necesita tan sólo del 64 al 75 % del tiempo de cocción que se emplea en el haba entera, sin embargo, si el calentamiento es prolongado habrá una degradación de proteínas, vitaminas y minerales, este tiempo puede ser superior a 45 minutos en otras leguminosas (Anangono, 2006) como el frijol (*Phaseolus vulgaris*) cuyos tiempos de cocción variaron entre 50 y 150 minutos, dependiendo de las características genéticas de la semilla y del efecto del ambiente (Jacinto *et al.*, 1993). En variedades nativas de frijol provenientes de Hidalgo se obtuvieron tiempos de cocción de 60 minutos (Muñoz *et al.*, 2009), mientras que la cruce de las variedades 'Bayo Mecentral' x 'Bayo Victoria' generó frijoles con tiempo de cocción menores a 80 minutos (Jacinto *et al.*, 2002). Habas con tiempos elevados de cocción fueron reportados en la metodología de Khalil *et al.* (1995) en habas de Egipto sin testa, las cuales requirieron de 45 minutos de cocción tras 12 h de remojo para obtener granos suaves.

### **Porcentaje de sólidos en caldo**

En el Cuadro 11 se presenta la variación en el porcentaje de sólidos en caldo como promedio de 20 líneas por colecta. En las colectas 1 y 2, pertenecientes a *Vicia faba* tipo *minor*, se obtuvo un porcentaje de 0.30 y 0.34 %, respectivamente, no hubo diferencia significativa entre ellas a pesar de pertenecer a colectas de diferente origen. No obstante existió diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el testigo *Vicia faba* tipo *minor* (0.16 % de sólidos) con la colecta 1 y entre la colecta 1 con la colecta 3, perteneciente a *Vicia faba* tipo *equina*, con 0.38 % de sólidos que dio una mejor textura al caldo. Aspectos como el sabor, la textura, la consistencia y la presentación de un alimento, percibidas de manera inmediata y subjetiva por el consumidor, son los que determinan su aceptación o rechazo (Liria, 2007). En la preparación de leguminosas como el frijol (*Phaseolus vulgaris*) se prefieren los caldos espesos que se obtienen cuando se da una mayor difusión de carbohidratos hacia el exterior de la semilla (Jacinto *et al.*, 1993) lo que se

refleja en una mayor cantidad de sólidos en caldo. En el caso del haba se tiene una preferencia similar, los agricultores de la Sierra Norte de Puebla lo han asociado el color “amarillo fuerte” en la semilla (amarillo intenso) que al cocinarse genera un caldo más atractivo (Díaz *et al.*, 2004; Díaz *et al.*, 2008).

Las líneas ‘MON12-159’ (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 0.19 % y ‘MON12-21’ (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 0.28 % tuvieron una baja cantidad de sólidos en caldo, mientras que las líneas ‘MON12-66’ (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 0.61 % y ‘MON12-50’ (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 0.69 %. Valores similares se han reportado en el frijol (*Phaseolus vulgaris*) que varió desde 0.10 % en frijol blanco hasta 0.91 % en frijol castaño (Jacinto *et al.*, 1993; de Dios, 2012; Ramírez *et al.*, 2012).

### **Color de caldo de cocción**

En el Cuadro 12 se observa la variación en el color del caldo de cocción de 20 líneas de haba por colecta, así como el croma y el hue°.

Un color que presenta claridad  $L^*$  con valores que tienden a cero contiene más negro que aquellos con mayor valor, la colecta 3 perteneciente a *Vicia faba* tipo *equina* presentó el caldo de cocción más oscuro con 27.4, por lo que existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) con la colectas 1 que presentó un caldo más claro. En *Vicia faba* tipo *minor* fue la colecta 2 la que tuvo el caldo más oscuro con 29.5, comparado con la colecta 1 con 39.2, por lo que hubo diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre ambas colectas. La cual también se presentó al compararlas con el testigo *Vicia faba* tipo *minor* (23.7).

Los caldos analizados en las 60 líneas tras la cocción fueron oscuros, las líneas que presentaron el caldo más oscuro fue ‘MON12-60’ (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con  $L^*=21.0$  y ‘MON12-21’ (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con  $L^*=25.2$ , las líneas con los caldos de mayor claridad fueron ‘MON12-35’ (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con  $L^*=49.1$  y ‘MON12-50’ (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con  $L^*=36.4$ .

En cuanto a la **variable a\***, el signo negativo indica que el caldo de cocción de las tres colectas tendió al verde. La colecta 3 de *V. faba* tipo *equina* presentó una mayor intensidad de verde con  $-0.9$  con respecto a las colectas 1 y 2 de *V. faba* tipo *minor* con  $-0.7$ , por lo que existió diferencia significativa entre ellas ( $p < 0.05$ ), toda vez que se trata de variedades botánicas diferentes.

**Cuadro 12.** Variación de la claridad **L\***, las variables **a\*** y **b\*** de color, croma y hue° en el caldo de cocción tomados como el promedio de 20 líneas por colecta de *Vicia faba* sembradas en el Campo Experimental Montecillo en el ciclo primavera-verano 2012.

COLECTA	N	L*	a*	b*
1 tipo <i>minor</i>	20	$39.2 \pm 0.07$ a <sup>1</sup>	$-0.7 \pm 0.35$ a	$-2.8 \pm 0.41$ a
2 tipo <i>minor</i>	20	$29.5 \pm 0.27$ b	$-0.7 \pm 0.30$ a	$-3.9 \pm 0.20$ b
3 tipo <i>equina</i>	20	$27.4 \pm 0.09$ b	$-0.9 \pm 0.27$ b	$-4.3 \pm 0.06$ b

COLECTA	N	Croma	Hue°
1 tipo <i>minor</i>	20	$39.3 \pm 0.07$ a <sup>1</sup>	$72.7^\circ \pm 0.15$ a
2 tipo <i>minor</i>	20	$29.5 \pm 0.27$ b	$80.5^\circ \pm 0.03$ a
3 tipo <i>equina</i>	20	$27.4 \pm 0.09$ b	$72.3^\circ \pm 0.05$ a

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre colectas ( $p \leq 0.01$ ). Se presenta cada variable de color  $\pm$  coeficiente de variación. N: Número de líneas

Las 60 líneas tuvieron tendencia al verde, las líneas con mayor intensidad de verde fueron 'MON12-97' (colecta 1), 'MON12-64' (colecta 2), 'MON12-174' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con  $a^* = -1.1$  y 'MON12-50' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con  $a^* = -1.8$ , mientras que las líneas con menor intensidad de verde fueron 'MON12-30' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con  $a^* = -0.3$  y 'MON12-21' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con  $a^* = -0.7$ .

La **variable b\*** de color de caldo de cocción fue negativo, por lo tanto las colectas tendieron al azul. En *V. faba* tipo *minor* la colecta 1 tuvo menor intensidad de azul con  $-2.8$  que la colecta 2 con  $-3.9$  por lo que hubo diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) entre ellas, debido a que se trata de colectas de origen diferente. Mientras que la colecta 3 perteneciente a *V. faba* tipo *equina* tuvo mayor

intensidad de verde con  $-4.3$ , existiendo diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) con respecto a la colecta 1 ya que se trata de variedades botánicas diferentes.

Las 60 líneas tendieron al azul. Las líneas con menor intensidad de azul fueron 'MON12-116' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con  $b^* = -1.1$  y 'MON12-50' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con  $b^* = -3.4$ . Las líneas con mayor intensidad de azul fueron 'MON12-178' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con  $b^* = -4.8$  y 'MON12-166' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con  $b^* = -4.7$ .

En el **croma**, los valores altos indican matices puros. En *Vicia faba* tipo *minor* la colecta 1 presentó los colores más vivos en el caldo de cocción con  $39.3$  con respecto a la colecta 2 con  $29.5$ , por lo que tuvieron diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) ya que tienen un origen diferente. Por otro lado, la colecta 3 de *Vicia faba* tipo *equina* presentó colores más apagados con  $27.4$ , existió diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) con respecto a la colecta 1 toda vez que se trata de variedades botánicas diferentes.

Las líneas con caldos de cocción de colores más vivos fueron 'MON12-35' (colecta 2) de *Vicia faba* tipo *minor* con  $C = 49.1$  y 'MON12-50' (colecta 3) de *Vicia faba* tipo *equina* con  $C = 36.4$ , mientras que los caldos con colores apagados fueron 'MON12-66' (colecta 2) de *Vicia faba* tipo *minor* con  $C = 24.4$  y 'MON12-21' (colecta 3) de *Vicia faba* tipo *equina* con  $C = 25.2$ .

En cuanto al **hue°**, que define al color de acuerdo a longitud de onda del tono dominante, las tres colectas presentaron mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos. En *Vicia faba* tipo *minor*, el hue osciló desde  $72.7^\circ$  en la colecta 1 hasta  $80.5^\circ$  en la colecta 2, por lo que está última tuvo mayor proporción de tonos amarillos, mientras que en *Vicia faba* tipo *equina*, la colecta 3 fue de  $78.3^\circ$ , esto indica que tuvo mayor proporción de tonos rojizos que la colecta 2. No existió diferencia significativa entre colectas, ni con respecto a los testigos a pesar de pertenecer a variedades botánicas diferentes.

Las líneas 'MON12-132' (colecta 1) de *Vicia faba* tipo *minor* y 'MON12-60' (colecta 3) de *Vicia faba* tipo *equina* tuvieron mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos con  $h^\circ = 85.2^\circ$  y  $81.6^\circ$ , respectivamente. Mientras que las líneas 'MON12-126' (colecta 1) de *Vicia faba* tipo *minor* y 'MON12-12' (colecta 3) de *Vicia faba* tipo *equina* tuvieron mayor proporción de tonos rojizos que de amarillos con  $h^\circ = 55.8^\circ$  y  $62.6^\circ$ , respectivamente.

Los colores del caldo de cocción fueron oscuros, apagados con tonalidades verde-azul y una mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos, lo que los hace poco apetecibles al consumidor, quien prefiere el caldo amarillo, proveniente de la cocción de semillas color amarillo fuerte (Díaz *et al.*, 2004). Dicho caldo se presentó en el testigo *V. faba* tipo *mayor* que comparado con las colectas tuvo mayor proporción de verde ( $a^* = -1.9$ ), menor proporción de azul ( $b^* = -2.8$ ), mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos ( $hue^\circ = 82.5^\circ$ ) y colores oscuros ( $L^* = 31.2$ ). Sin embargo, la comida mexicana tiene diversos platillos en los cuales el color del caldo de haba no es un elemento importante, como son las ensaladas, los tlacoyos, los tamales o en escabeche donde se consume tierna, además de freírse, tostarse o enzapataarse. Mientras que la semilla seca se emplea en la elaboración de harinas ya sea para pinole, para la elaboración de galletas o para consumo del ganado (ICAMEX, 2004).

### 3.3.2 Caracterización nutrimental

**Cuadro 13.** Calidad nutrimental de tres colectas de *Vicia faba* y dos testigos botánicos, sembradas en el Campo Experimental Montecillo en el ciclo primavera-verano 2012. Cada característica fue tomada como el promedio de 20 líneas por colecta.

<b>COLECTA</b>	<b>Contenido de lípidos (%)</b>	<b>Contenido de proteínas (%)</b>	<b>Contenido de taninos (g / 100g de muestra seca)</b>
1 tipo <i>minor</i>	3.38 ± 0.21 a	33.12 ± 0.03 ab	2.97 ± 0.38 a
2 tipo <i>minor</i>	3.24 ± 0.15 a	32.83 ± 0.05 ab	2.65 ± 0.36 ab
<i>Testigo V. faba minor</i>	2.45 ± 0.07 a	30.66 ± 0.003 ab	1.52 ± 0.03 ab
3 tipo <i>equina</i>	2.26 ± 0.14 b	33.97 ± 0.03 a	2.38 ± 0.32 ab
<i>Testigo V. faba equina</i>	2.36 ± 0.05 a	33.12 b	0.38 ± 0.12 b

<sup>1</sup> Letras minúsculas distintas indican diferencia estadísticamente significativa entre colectas ( $p \leq 0.05$ ). Se presenta cada característica  $\pm$  coeficiente de variación

#### Contenido de lípidos

En el Cuadro 13 se presenta la variación en el contenido de lípidos como promedio de 20 líneas por colecta, el porcentaje fue similar entre las colectas 1 y 2 perteneciente a *Vicia faba* tipo *minor* con 3.38 y 3.24 %, respectivamente, no hubo diferencia significativa entre ellas. Mientras que en la colecta 3 perteneciente a *Vicia faba* tipo *equina* se obtuvo el valor más bajo con 2.26 % por lo que fue significativamente diferente ( $p < 0.05$ ) a las colectas 1 y 2, ya que pertenecen a variedades botánicas diferentes. Este resultado concuerda con Messina (1999) quien indicó que los lípidos se encuentran presentes en las leguminosas en bajas proporciones, a excepción de la soya y el chícharo. En haba, los lípidos se concentran en los cotiledones, se componen de triglicéridos (48 %), fosfolípidos (36 %) y glucolípidos (10 %). Los ácidos grasos que se unen en mayor proporción son: el oleico (18:1), linoléico (18:2), linolénico (18:3), palmítico (16:0), esteárico (18:0) y araquidónico (20:0) (Salunkhe *et al.*, 1989; Larralde *et al.*, 1991).

Valores similares en el contenido de lípidos han sido reportados por Maya (2009) en variedades locales de Tlachichuca, Puebla con 1.51 a 2.47 % cuya concentración aumentó al tostar el haba, por Haciseferogullari *et al.* (2003) en habas de Turquía con 2.69 % y por Musallam *et al.* (2004) en variedades locales de Jordania sembradas bajo condiciones de riego (2.24 %), cuyo porcentaje de lípidos fue mayor que las sembradas bajo condiciones de sequía (1.82 %).

Las líneas que tuvieron menor concentración de lípidos fueron 'MON12-101' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 2.22 % y 'MON12-48' de *V. faba* tipo *equina* con 1.69 %, mientras que las líneas con mayor concentración fueron 'MON12-95' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 4.50 % y 'MON12-21' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 3.33 %. Concentraciones similares han sido determinadas en variedades locales de haba de Arabia Saudita desde 1.50 % hasta 2.12 % (Alghamdi, 2009); en el cultivar 'H.93' de Sudan con 1.24 % (Abusin *et al.*, 2009) y en la variedad 'Fiesta' de Australia con 1.55 %, valor que aumentó (1.81 %) al someterla a deterioro durante 12 meses a 50°C (Nasar-Abbas *et al.*, 2008).

### **Contenido de proteínas**

En el Cuadro 13 se presenta la variación en el contenido de proteínas como promedio de 20 líneas por colecta. En *V. faba* tipo *minor* osciló entre 33.12 % (colecta 1) y 32.83 % (colecta 2) por lo que no hubo diferencia estadística entre ellas, a pesar de tener un origen diferente. En la colecta 3, perteneciente a *V. faba* tipo *equina*, se obtuvo la mayor concentración de proteínas con 33.97 %. Esta colecta tuvo diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) con las colectas 1 y 2, ya que se trata de variedades botánicas diferentes y con el testigo *Vicia faba* tipo *equina* que tuvo una concentración baja de proteína (29.95 %). Valores cercanos han sido reportados por Musallam *et al.* (2004) en genotipos de haba de Jordania pertenecientes al ICARDA sometidas a riego (30.14 %) y sequía (29.28 %). Mientras que valores similares se han reportado en 10 variedades de haba de Tlachichuca, Puebla con una concentración de proteína desde 26.59 % hasta 35.17 %, incluyendo las variedades 'Inglesa' con 34.26 % y 'Zacatecas' con 31.39

% (Maya, 2009); en variedades locales de haba de Arabia Saudita con porcentajes que van desde 31.8 % hasta 39.7 % (Alghamdi, 2009); al igual que en diversos genotipos europeos donde la variación osciló entre 27 y 34 % (Duc, 1997). Estos datos verifican lo indicado por Cubero *et al.* (1983) sobre el valor nutrimental en la semilla del haba, que depende tanto de su genotipo como de las condiciones climáticas donde se desarrolla, por lo que cabe mencionar que el alto contenido de proteína se obtuvo sin la aplicación de fertilizantes al suelo durante el desarrollo del cultivo. De acuerdo con Guadarrama (2007), la aplicación de nitrógeno en cultivos posteriores podría contribuir a incrementar el número de vainas, el número de semillas y, en consecuencia, el rendimiento de haba y la concentración de proteína en la semilla.

Las líneas que tuvieron menor contenido de proteínas fueron 'MON12-66' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 28.43 % y 'MON12-62' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 31.87 %. Caso contrario a las líneas 'MON12-178' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 35.80 % y 'MON12-48' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 35.57 %. Valores similares fueron reportados por Abusin *et al.* (2009) en las variedades 'BB7' y 'H.93' de haba proveniente de Sudán con 29.57 y 31.83 %, respectivamente, en haba de Alejandría con 29.2 % (Khalil *et al.*, 1995), en haba de Turquía con 29.09 % (Demet *et al.*, 2012), así como en *Vicia faba* tipo *mayor* también de Turquía con 29.63 % (Haciseferogullari *et al.*, 2003).

### **Contenido de taninos en testa**

En el Cuadro 13 se presenta la variación en el contenido de taninos como promedio de 20 líneas por colecta. El menor contenido de taninos fue en la colecta 3 perteneciente a *V. faba* tipo *equina* con 2.38 g EC / 100 g de muestra seca, no existió diferencia significativa con respecto a las colectas 1 y 2, a pesar de pertenecer a variedades botánicas diferentes. Sin embargo, existió diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre la colecta 3 y el testigo *V. faba* tipo *equina* (0.38 g EC / 100 g de muestra seca). En *V. faba* tipo *minor*, el contenido de taninos osciló desde 2.98 g EC / 100 g de muestra seca en la colecta 1 hasta 2.65 g EC / 100 g

de muestra seca en la colecta 2, no hubo diferencia significativa entre ellas. Valores cercanos fueron obtenidos por Nasar-Abbas *et al.* (2008) al almacenar semillas de *Vicia faba L.* variedad 'Fiesta' durante un año a diferentes temperaturas, manteniéndose entre los 4.07 y 4.30 g de taninos / 100g de muestra al estar entre 5 y 25 °C, mientras que Van der Poel *et al.* (1991) obtuvo 4.10 % de taninos en testa seca y 3.60 % en testa húmeda tras la eliminación manual de la testa de la variedad 'Alfred' de Nueva Zelanda.

Se han reportado correlaciones negativas en haba entre el contenido de taninos con el contenido de proteína (Jordán, 2011) y entre el tamaño de la semilla, el contenido de taninos, cenizas y hierro (Avola *et al.*, 2009), sin embargo, no pudimos constatar tales correlaciones, probablemente porque el contenido de taninos depende del genotipo. También ha habido correlación entre el color de testa en la semilla y el contenido de taninos (Crepón *et al.*, 2010), las habas de color oscuro se asocian con menor concentración de taninos que las de color claro (Shazali, 1990). Así, las habas cafés tienen menos taninos que las rojas, seguidas de las verdes y las amarillas (Duc *et al.*, 1995; Jordán, 2011). Las semillas que presentan taninos en la testa provienen de flores coloreadas o amarillas, que presentaron una mancha de melanina en la quilla durante su época de floración (Lawes, 1983; Cabrera *et al.*, 1989).

Las líneas con menor contenido de taninos fueron 'MON12-174' (colecta 1) de *V. faba* tipo *minor* con 0.42 g EC / 100 g de muestra seca y 'MON12-55' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 0.77 g EC / 100 g de muestra seca. En el otro extremo se ubican las líneas 'MON12-12' (colecta 2) de *V. faba* tipo *minor* con 4.68 mg EC / 100 g de muestra seca y 'MON12-15' (colecta 3) de *V. faba* tipo *equina* con 3.27 g EC / 100 g de muestra seca. Valores similares han sido obtenidos en las variedades de Inglaterra 'Brunette' y 'Minica' con 1.53 y 2.10 g / 100 g de muestra, respectivamente; en variedades locales de Alejandría con 1.41 g / 100g de muestra; en variedades 'Larga di Leonforte' de Sicilia con 2.1 a 3.3 g / 100 g de muestra; en las variedades 'BB7' y 'Hudieba-93' de Sudan con 1.12 y 0.7 g / 100 g de muestra, respetivamente; y en el haba cultivar 'Cochinera' sometida a

tratamiento con y sin fertilización con 2.1 y 2.3 g / 100g de muestra (Longstaff *et al.*, 1991; Khalil *et al.*, 1995; Guadarrama *et al.*, 2007; Abusin *et al.*, 2009; Avola *et al.*, 2009; Gresta *et al.*, 2009). Mientras que habas con mayor cantidad de taninos a las analizadas en esta investigación han sido reportados por Jordán (2011) con testas color crema con 10.6 % y testas color marrón con 8.1 % colectadas en Puebla, Tlaxcala, Oaxaca y Guerrero.

### 3.3.3 Análisis de Correlación

Se presenta correlación entre el porcentaje de testa y el peso de 100 semillas ( $r=-0.619$ ,  $p<0.01$ ), lo que indica que las semillas de mayor peso presentan una menor cantidad de testa, esto se refleja a su vez en una velocidad de absorción más rápida. Respuestas similares han sido reportadas por Youseff *et al.* (1992) en habas de Egipto quien encontró una alta correlación entre el porcentaje de testa, el coeficiente de hidratación y el tiempo de cocción e indicó que la dureza en la semilla se debe tanto a características de la testa como de los cotiledones.

Otra correlación se observó entre el porcentaje de sólidos con la variable  $a^*$  de color del caldo de cocción ( $r=-0.618$ ,  $p<0.01$ ) lo que indica que la tonalidad verde en caldo se asocia con una baja liberación de sólidos en el caldo, la cual en promedio fue de 0.3 %. Al comparar con el testigo *V. faba* tipo *mayor*, empleada generalmente para consumo humano, este porcentaje aumenta a 0.5 % con el color de caldo de cocción amarillo.

También hubo correlación entre el porcentaje de lípidos con la variable  $b^*$  del color de caldo de cocción ( $r=0.507$ ,  $p<0.01$ ), por lo que se considera que a mayor cantidad de lípidos en la semilla el caldo tenderá a ser azul. Sin embargo, la concentración de lípidos en *V. faba* tipo *mayor* fue similar a los promedios de las tres colectas (2.97 %), su caldo fue amarillo lo que da pie a determinar en investigaciones posteriores cuál es la sustancia que otorga el color al caldo del haba.

A pesar de que han sido reportadas correlaciones entre el contenido de taninos con la máxima capacidad de absorción ( $r=-0.69$ ) y el contenido de proteínas con el contenido de taninos ( $r=-0.51$ ) en *Vicia faba* tipo *mayor* de Sicilia (Avola *et al.*, 2009) en el presente estudio no se observaron.

Mientras que en el análisis de correlación al conjuntar los 8 parámetros agronómicos se tienen cinco correlaciones altamente significativas y cuatro parámetros con escasa correlación.

Dentro de las características relacionadas con la calidad de la semilla, encontramos correlación con respecto al desarrollo del cultivo. Así, días a madurez se correlaciona con la variable  $b^*$  ( $r=0.561$ ,  $p<0.01$ ) y el croma ( $r=0.656$ ,  $p<0.01$ ) del color de caldo de cocción por lo que plantas que tarden en madurar tenderán a presentar tonalidades azules y mate al cocer sus semillas. Con respecto a la parte estructural de la planta, hubo correlación entre el número flores por inflorescencia con la claridad  $L^*$  ( $r=0.654$ ,  $p<0.01$ ), la variable  $b^*$  ( $r=0.499$ ,  $p<0.01$ ) y el croma ( $r=0.654$ ,  $p<0.01$ ) en el color de caldo de cocción por lo que plantas con una mayor cantidad de flores por inflorescencia, producirán semillas que tenderán a presentar caldos de cocción claros, azules y mates, lo cual depende también del genotipo y la edad de la semilla.

Al respecto se ha visto que en semillas de *Vicia faba* L. variedad 'Fiesta' de Australia almacenadas a 37, 45 y 50 °C por 12 meses presentaron una reducción en los constituyentes fenólicos de los cotiledones y la testa comparados con el control, así como un aumento en el contenido de lípidos, ligninas y fibras ácidas, éstos dos últimos componentes de la pared celular (Nasar *et al.*, 2008), mientras que el empaquetamiento de semillas variedad 'Fiesta' con diferente contenido de humedad (8, 10, 12 y 14 %) a 30, 37, 45, 50 ó 60 °C por un año cambio el color de la testa de beige a café claro, café oscuro o casi negro, reflejado en la disminución de la variable  $a^*$  del color y el aumento de la luminosidad y la variable  $b^*$  del color, comportamiento que también se observó en los cotiledones almacenados a 37 °C, en los cuales se dio la disminución de los compuestos fenólicos (Nasar, 2009). Así mismo, Agurto (2012) encontró en los cultivares Luz

de Otoño, Verde Bonita y Aguadulce de *Vicia faba* L. *mayor* que el contenido de sólidos solubles y compuestos fenólicos de bajo peso molecular aumenta en la semilla a medida que disminuye su humedad de 80 a 65 % al llegar a madurez fisiológica, además de observar una diferencia de color al ojo humano en la testa reflejado como aumento en su luminosidad.

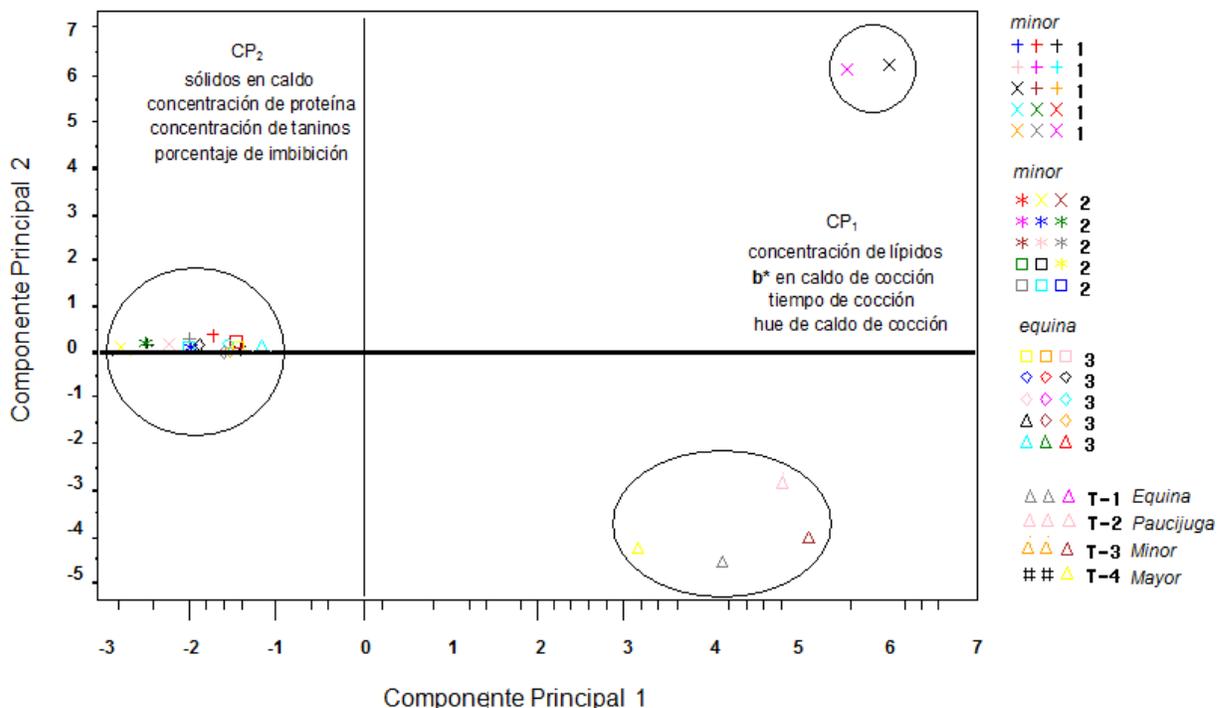
También entre el número de vainas por planta con el porcentaje de absorción ( $r=0.441$ ,  $p<0.01$ ) y el número de tallos con tiempo de cocción ( $r=0.454$ ,  $p<0.01$ ) por lo que plantas con un elevado número de vainas y tallos presentarán semillas que tenderán a absorber una mayor volumen de agua, aumentando su tiempo de cocción.

En parámetros relacionados con la parte nutrimental de la semilla se encontró correlación entre el porcentaje de lípidos con el número de tallos ( $r=0.470$ ,  $p<0.01$ ) y con el número de vainas por planta ( $r=-0.625$ ,  $p<0.01$ ). Por lo que la presencia de una mayor cantidad de tallos en la planta podría sugerir su contribución para una mayor producción de asimilados para la semilla, ya que su contribución es del 65 % en haba con crecimiento indeterminado (Nachi *et al.*, 1996), mismos que se distribuirían entre las vainas presentes, disminuyendo la concentración de lípidos a medida que aumentan la cantidad de vainas presentes en la planta.

Correlaciones entre parámetros agronómicos y características físico-químicas en haba que no se obtuvieron en la presente investigación han sido determinadas por Mosa (2012) entre peso de semillas por planta con el peso de 100 semillas en habas de Palestina ( $r=0.779$ ); por Morales *et al.* (2012) entre altura de planta con peso de 100 semillas ( $r=-0.520$ ) en las variedades 'V-31', 'V-32', 'V-35', 'San Pedro Tlaltizapan' y el criollo 'Tenango del Valle' evaluados en Tecámac, Estado de México (Morales *et al.*, 2012). Tampoco se encontró correlación entre el contenido de proteína con la proteína disponible, la dimensión de la semilla, la capacidad de absorción de agua por la semilla y el tiempo de cocción obtenidas en variedades locales de *Vicia faba* tipo *mayor* 'Larga di Leonforte' de Sicilia (Avola *et al.*, 2009).

### 3.3.4 Análisis de Componentes Principales

En la Figura 12 es posible observar el diagrama en dos dimensiones de componentes principales, el cual se llevó a cabo usando tanto características nutrimentales como de calidad, se determinó que con tres componentes se explica más del 93 % de la variación observada entre las colectas. El 51 % de la variación fue explicada por el CP1 las características más significativas fueron la concentración de lípidos, la variable  $b^*$  de color en caldo de cocción, el tiempo de cocción y el hue° del caldo de cocción las características más significativas; el 38 % de la variación es explicada por CP2 donde las características preponderantes fueron el porcentaje de sólidos en caldo, la concentración de proteína, la concentración de taninos y el porcentaje de imbibición las características preponderantes.



**Figura 12.** Distribución de colectas y testigos en función de los componentes principales.

Se observan tres grupos, uno ubicado entre el cuadrante II y III donde se encuentran la mayoría de líneas de las tres colectas, sobresalen las líneas 'MON12-97', 'MON12-100' de la colecta 1, 'MON12-35', 'MON12-60' de la colecta 2, 'MON12-30' y 'MON12-60' de la colecta 3 con una elevada concentración de proteína, un baja concentración de taninos, una elevada capacidad de absorción, un porcentaje de sólidos cercano a 0.3 % en CP1, así como un tiempo de cocción de 8 minutos, un bajo contenido de lípidos y un hue° similar en CP2.

Otro grupo conformado por los testigos está ubicado en el cuadrante IV, sobresalen los testigos *V. faba* tipo *equina* y *V. faba* tipo *paucijuga* que presentaron las menores cantidades en porcentaje de sólidos en caldo, concentración de proteínas, concentración de taninos, concentración de lípidos y porcentaje de absorción (sólo *V. faba* tipo *paucijuga*) y un tiempo mayor de cocción en el caso de *V. faba* tipo *equina*, con respecto a los otros testigos y colectas.

Un tercer grupo ubicado en el cuadrante I con dos líneas sobresalientes: 'MON12-95' y 'MON12-101' que presentaron una baja velocidad de imbibición y por tanto un bajo porcentaje de absorción de agua, MON12-95 presentó además un bajo porcentaje de testa y 'MON12-101' un bajo contenido de lípidos.

### 3.4 Conclusiones

En general las 60 líneas de haba seleccionadas presentaron diversidad en las características de calidad y nutrimentales. Las semillas fueron claras, color mate con mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos. El porcentaje de testa se encontró en entre 12.6 y 13.9 %, con un peso de 100 semillas entre los 91.91 g y 107.36 g, existió correlación entre ambos parámetros, las semillas más pequeñas mostraron mayor porcentaje de testa ( $r = -0.62$ ,  $p < 0.01$ ).

En la curva de imbibición de las semillas, durante las primeras 4 horas hubo una lenta hidratación que alcanzó el 20 % del peso de la semilla, la cual incrementa desde la quinta hasta la octava hora hasta 55 %, continua progresivamente hasta casi duplicar su peso al término de las 24 horas (93 %), el comportamiento fue similar entre las tres colectas. La máxima capacidad de absorción tuvo un intervalo entre 92 y 100 % del peso de la semilla.

El tiempo de cocción osciló entre 6.6 y 7.2 minutos, el espesor del caldo de cocción presentó entre 0.3 y 0.4 % de sólidos. Los colores del caldo de cocción fueron oscuros, apagados con tonalidad verde-azul y una mayor proporción de tonos amarillos que de rojizos. Un caldo más espeso (mayor concentración de sólidos) se asoció con tonalidades verdosas ( $a^*$ ) ( $r = -0.62$ ,  $p < 0.01$ ).

La cantidad de proteína presente en la semilla estuvo entre 32.57 y 33.90 %, la cantidad de lípidos entre 2 y 3 %, mientras que los taninos oscilaron entre 2.38 g y 2.97 g EC / 100 g de muestra seca.

La variación culinaria y nutrimental presente en las 60 líneas de las tres colectas permitió la selección de las líneas sobresalientes 'MON12- 92', 'MON12-97', 'MON12-100', 'C1-112' y 'MON12-183' en la colecta 1, 'MON12-60', 'MON12-156', 'MON12-166' y 'MON12-178' de la colecta 2 de *V. faba* tipo *minor* y las líneas 'MON12-56', 'MON12-101', 'MON12-119', 'MON12-161', 'MON12- 166' de la colecta 3 en *V. faba* tipo *equina*.

### 3.5 Literatura citada

- Abu-Ghannam N, B McKenna (1997)** Hydration kinetics of red kidney beans. *Journal of Food Science*. 62(3): 520-523.
- Abusin S A E, A B Hassan, E E Babiker (2009)** Nutritional evaluation of cooked faba vean (*Vicia faba* L.) and white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3(3): 2484-2490
- Agurto A, E S (2012)** Análisis de compuestos antioxidantes presentes en haba (*Vicia faba* L.) para su consumo hortícola. Tesis de Licenciatura. Universidad de Chile. Santiago de Chile. 52 p.
- Alghamdi S (2009)** Chemical composition of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes under various water regimes. *Pakistan Journal of nutrition* 8(4):477-482.
- Analysis Sistem SAS (2002)** SAS/STAT Software. User's guide release 9.0 Cary, N.C. SAS Institute Inc.
- Anangono M, A (2006)** Estudio nutricional del haba, nuevas y creativas formas de preparación. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica Equinoccial. 138 p.
- Association of Official Analytical Chemist. AOAC (2001)** Official Method of Analysis. 46.10 Crude protein. Washington, D.C.
- Association of Official Analytical Chemist. AOAC (1990)** Official Method of Analysis. 15th ed. 925.39C Fat (Crude) or ether extract in Animal Feed. Washington, DC, USA.
- Avola G, F Gresta, V Abbate (2009)** Diversity examination based on physical, technological and chemical traits in a locally grown landrace of faba bean (*Vicia faba* L. var. *major*) *International Journal of Food Science and Technology*. 44:2568-2576.
- Bhatty, R S (1974)** Chemical composition of some faba bean cultivars. *Canadian Journal of plant Science*. 54: 413-421.
- Burns E R (1971)** Method for estimation of tannin in grain sorghum. *Agronomy Journal*. 63: 511-512.
- Butler, L G (1982)** Polyphenols and their effect on sorghum quality. In: Proceedings of the International Symposium on Sorghum Grain Quality. Patancheru, India. 294 p.

- Butter N L, J M Dawson, P J Buttery (1999)** Second Plant Products. Antinutritional and Beneficial Actions in Animal Feeding. Caygill, J.C. and Mueller-Harvey, I. (eds.) Nottingham University. Nottingham, UK. 51-70 p.
- Cabrera A, A Martin (1986)** Variation in tannin content in *Vicia faba* L. Journal Agricultural Science.106: 377–382.
- Cabrera A, A Martin (1989)** Genetics of tannin content and its relationship with flower and testa colours in *Vicia faba*. The Journal of Agricultural Science. 113(01):93 - 98.
- Chong C, B Bible B, J Hak-Yoon (2002)** Germination and emergence. En: M. Pessaraki (Ed.). Handbook of plant and crop physiology. 2a. edición. New York, USA. 85-146 p.
- Charley H (1999)** Tecnología de alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Limusa ed. México. 633 p.
- Chau C F, K Cheung P C (1997)** Effect of various processing methods on antinutrientes and in vitro digestibility of protein and starch of two Chinese indigenous legume seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45: 4773-4776.
- Chung K T, Wong T Y, Wei C I, Huang Y W, Lin Y (1998)** Tannins and human health: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 38(6): 421-464.
- Confalone, A E (2008)** Crecimiento y desarrollo del cultivo del haba (*Vicia faba* L.) parametrización del submodelo de fenología de CROPGRO-fababean. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. 213 p.
- Crepón K, P Marget, C Peyronnet, B Carrouée, P Arese, G Duc (2010)** Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crop Research*. 115: 329-339.
- Cubero J I, Moreno M T (1983)** Leguminosas de grano. Origen, evolución y mejora genética de las leguminosas de grano. Mundiprensa ed. Madrid, España. 47-51 p.
- Davis, K R (1981)** Effect of processing on composition of *Tetrahymena* relative nutritive value on green and yellow peas, lentils and white pea beans. *Cereal Chemistry*. 58: 454-460.
- de Dios, E O (2012)** Características morfológicas, culinarias y contenido de taninos de semillas de frijol criollo (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado en

comunidades de la región montaña de Guerrero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Puebla, Puebla. 65 p.

- Demet G, S Sedat (2012)** Effect of cooking methods on selected physicochemical and nutritional properties of barlotto bean, chickpea, faba bean and white kidney bean. *Journal Food Science and Technology* 49(1): 89-95.
- Deshpande S S, M Cheryan, D K Salunkhe (1986)** Tannin analysis of food products. CRC. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 24: 401-449.
- Deshpande U S, Deshpande S S (2001)** Legumes. Foods of plant origin, production, technology and human nutrition. In Salunkhe and Deshpande ed. England. 137-300 p.
- Díaz B M, E Herrera C (2004)** Caracteres morfológicos en la selección de semilla de haba en la Sierra Norte de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27(1): 49-52.
- Díaz B M, B E Herrera C, J Ramírez J, M Alipha F, A Delgado A (2008)** Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la sierra norte de Puebla, México. *Interciencia* 33(8): 610- 615.
- Duc G, N Brun, R Merghem, M Jay (1995)** Genetic variation in tannin-related characters of faba-bean seeds (*Vicia faba* L.) and their relationship to seed-coat colour. *Plant Breeding*. 114: 272–214
- Duc G (1997)** Faba vean (*Vicia faba* L.) *Field Crops Research*. 53: 99-109.
- Duc G, P Marget, R Esnault, J Le Guen, D Bastianelli (1999)** Genetic variability for feeding value of faba bean seeds (*Vicia faba*): Comparative chemical composition of isogenics involving zerotannin and zero-vicine genes. *Journal Agriculture Science*. 133: 185–196.
- Food and Agriculture Organization. FAO (2011)** Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. Semillas en emergencias. Manual técnico. Roma. 82 p.
- Fernandez A J M, A M Bruno S (1998)** Chemical composition, organic matter digestibility and gas production of nine legume grains. *Animal Feed Science Technology*. 70: 49-57.
- Gnanasambandam A, J Paull, A Torres, S Kaur, T Leonforte, H Li, X Zong, T Yang, M Materne (2012)** Impact of Molecular Technologies on Faba Bean (*Vicia faba* L.) Breeding Strategies. *Agronomy*. 2:132-166.

- Gresta F, G Avola, E Albertini, L Raggi, V Abbate (2009)** A study of variability in the Sicilian faba vean landrace 'Larga di Leonforte'. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 57(4): 523-531.
- Guadarrama Q A, J A Escalante E, M T Rodríguez G, P Sánchez G, E Sandoval C (2007)** Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *TERRA Latinoamericana*. 25(2): 169-175.
- Guzmán M H, C Jacinto H, J Z Castellanos (1995)** Manual de métodos para determinar características de calidad en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) INIFAP Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato. 77 p.
- Haciseferogullari H, I Gezer, Y Bahtiyarca, H O Menges (2003)** Determination of some chemical and physical properties of Sakiz faba bean (*Vicia faba* L. Var. *major*) *Journal of Food Engineering*. 60: 475-479.
- Henderson H M, S A Ankrah (1985)** The relationship of endogenous phytase, phytic acid and moisture uptake with cooking time in *Vicia faba* minor cv. Aladin. *Food Chemistry*. (17): 1-11
- Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. ICAMEX (2004)** Usos alternativos del cultivo del haba. Tecnología de producción de haba para la región centro. México. 37 p.
- International Commission on Illumination. CIE (1976)** Recommendations on Uniform Color Spaces, Color-Difference Equations, Psychometric Color Terms, Supplement No. 2 to CIE Publication No. 15, Colorimetry. 1971-1978 p.
- International Commission on Illumination. CIE Draft Standard (2007)** Colorimetry Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* Colour Space *In*: CIE DS 014-4.3/E: 2007. Vienna, Austria. 12 p.
- International Organization for Standardization. ISO 12647-2 (2004)** Graphic Technology, process control for the production of the half-tone colour separations, proofs and production prints. 2<sup>nd</sup> edition. Switzerland. 19 p.
- Jacinto-Hernández C, Acosta-Gallegos J A, Ortega-Alcalá J (1993)** Caracterización del grano de variedades mejoradas de frijol en México. *Agricultura Técnica en México*. 19: 167-179.
- Jacinto H C, A Campos E (1993)** Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía mesoamericana*. 4: 42-47.

- Jacinto-Hernández C, H Hernández-Sánchez, H S Azpíroz-Rivero, J A Acosta G, I Bernal-Lugo (2002)** Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales. *Agrociencia*. 36(4): 451-459.
- Jackson M, E Varriano M (1981)** Hard-to-Cook phenomenon in beans: effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. *Journal of Food Science*. 46: 799-803.
- Jansman A J, N W Verstegen, J Huisman, J W Van den Berg (1995)** Effects of hulls of faba beans (*Vicia faba* L.) with a low or high content of condensed tannins on the apparent ileal and fecal digestibility of nutrients and the excretion of endogenous protein in ileal digesta and feces of pigs. *Journal Animal Science*. 73: 118-127.
- Jordán A, B (2011)** Contenido de taninos y caracterización molecular de variedades de haba (*Vicia faba* L.) cultivadas por agricultores. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Puebla, Puebla. 66 p.
- Konica Minolta Sensing, Inc (2003)** Espacio de color L\*, a\*, b\*. Parte I, II y IV. Consultado 15-06-2013 en <http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/07.html>
- Khalil A H, Mansour H (1995)** The effect of cooking, autoclaving and germination on the nutritional quality of faba beans. *Food chemistry*. 54:177- 182
- Larralde J, Martínez J (1991)** Nutritional value of Faba bean: effects on nutrient utilization, protein turnover and immunity. CIHEAM, Options Mediterraneennes. España. 111-117 p.
- Lawes D A, D W Griffiths (1983)** United Kingdom. *In: Vicia faba* research in Europe. Loughborough, Leicestershire, United Kingdom. 87 p.
- Liener I E, N Sharon, I J Goldstein (1986)** The Lectins: Properties, Functions and Applications in Biology and Medicine. Academic Press, Orlando, FL. 618 p.
- Liria M R (2007)** Guía para la evaluación sensorial de alimentos. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. 22 p.
- Longstaff M, J M McNab (1991)** The inhibitory effects of hull polysaccharides and tannins of field beans (*Vicia faba* L.) on the digestion of amino acids, starch and lipid and on digestive enzyme activities in young chicks. *British Journal of Nutrition's*. 65: 199.216.
- Mataix F J, G Salido (1985)** Importancia de las leguminosas en nutrición humana. Fundación Española de la Nutrición. No.1 Granada, España.

- Martin A, A Cabrera, J López M (1991)** Antinutritional. Factors in faba bean. tannin content in: *Vicia faba*: possibilities for plant breeding. *Options Méditerranéennes - Série Séminaires*. 10:105-110.
- Martínez M, T F (2001)** Efecto del ácido tánico sobre la digestibilidad de alimentos concentrados para rumiantes. Universidad de Almería. 221-245 p.
- Maya O, K (2009)** Caracterización física, nutricional y no nutricional de haba sometida a tratamiento térmico. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. IPN. 164 p.
- Messina, M J (1999)** Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 70: 439-450.
- Morales, R E, H De la O A, A Morales R, V De la Cruz A (2002)** Evaluación de cinco genotipos de haba (*Vicia faba* L.) con seis niveles de fósforo en Tecámac, México. *Ciencia Ergo Sum*. 9: 184-189
- Mosa A, T H (2012)** Phenotypic characterization of faba bean (*Vicia faba* L.) landraces grown in Palestine. Tesis de Maestría. An-Najah National University. 39 p.
- Motilva M J, J A Martínez, A Ilundain, J Larralde (1983)** Effects of extracts from bean varieties on intestinal D-glucose transport 'in vivo'. *Journal Science of Food Agricultural*. 34: 239-246.
- Musallam I W, G Al-Karaki, K Ereifej, A M Tawaha (2004)** Chemical composition of faba bean genotypes under rainfed and irrigation conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*. 6: 359-362.
- Muñoz V E E, D Rubio H, I Bernal L, R Garza G, C Jacinto H (2009)** Caracterización de genotipos nativos de frijol del Estado de Hidalgo. *Agricultura Técnica en México*. 35(4): 426-435.
- Nachi N, J Le Guen (1996)** Dry matter accumulation and seed yield in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Agronomie*. 16: 47-59.
- Nasar-Abbas S, J A Plummer, K H M Siddique, P White, D Harris, K Dods (2008)** Cooking quality of faba bean after storage at high temperature and the role of lignins and other phenolics in bean hardening. *Food Science and Technology*. 41: 1260-1267.
- Nasar-Abbas S M, K H M Siddique, J A Plummer, P F White, D Harris, K Dods, M D'Antuono (2009)** Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and

phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity. *Food Science and technology*. 42: 1703-1711.

**Ramírez P A, R Díaz R, C Jacinto H, JA Paredes S, R Garza G (2012)** Diversidad de frijoles nativos de diferentes regions del estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(3): 467-480.

**Robertson L D, El-Sherbeeney M (1991)** Distribution of discretely scored descriptors in a pure line faba bean *Vicia faba* L. germplasm collection. *Euphytica*. 57(1): 83–92.

**Rojas J T, R Díaz R, F Álvarez G, J Ocampo M, A Escalante E (2012)** Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores en Puebla y Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (1): 35-49.

**Román P, R (2000)** Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas. *Revista de la Sociedad Química de México*. 44(3): 233-236.

**Sáenz C (1989)** Importancia de las medidas de color en alimentos. Medidas instrumentales. Publicaciones Misceláneas Agrícolas N° 31. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago de Chile. 94 p.

**Santidrián S, F J Sobrini, J Larralde (1981)** Problemas que plantea la utilización de habas desde el punto de vista de la nutrición. *Revista Instituto Príncipe de Viena*. 1:95-103.

**Salunkhe D K, Chvan J K, Kadam S S (1989)** Dietary tannins: Consequences and Remedies. CRC Press Inc. Florida, USA. 208 p.

**Sarah A, E Abusin, A B Hassan, E E Babiker (2009)** Nutritional evaluation of cooked faba bean (*Vicia faba* L.) and white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3(3): 2484-2490.

**Shahidi F, M Naczk (1995)** Methods of analysis and quantification of phenolic compounds. In: Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications. Technomic publishing Co. USA. 281-320 p.

**Shahidi F, M Naczk (2004)** Methods of analysis and quantification of phenolic compounds. In: Phenolics in food and nutraceuticals. CRC Press. EUA. 489-496 p.

**Shazali, M E H (1990)** Faba bean (*Vicia faba* L.) seed coat colour, tannin content and susceptibility on bruchids. *Insect science and its application*. 11 (6): 855-859.

- Shi J, K Arunasalam, D Yeung, Y Kakuda, G Mittal, Y Jiang (2004)** Saponins from Edible Legumes: Chemistry, Processing, and Health Benefits. *Journal of Medicinal Food*. 7 (1): 67–78.
- Simón E U (1984)** Early events in germination. In: Seed Physiology. Vol. III. Germination and reverse mobilization. Academia Press, New York, USA. 77-115 p.
- Sjödín J, P Martensson, T Magyarosi (1981)** Selection for improved protein quality in field bean (*Vicia faba* L.) *Pflanzenzücht*. 86: 221-230
- Terzopoulos P J, P J Kaltsikes, P J Bebeli (2004)** Characterization of Greek populations of faba bean (*Vicia faba* L.) and their evaluation using a new parameter. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 51: 655–662, 2004.
- Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. UPOV. (2003)** Haba (*Vicia faba* L. var. *major* Harz) directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. Ginebra. 30 p.
- Van der Poel A, Gravendell S (1991)** Effect of different processing methods on tannin content and in vitro protein digestibility of faba bean. (*Vicia faba* L.) *Animal Feed Science and Technology*. 33:49-58.
- Vázquez Y C, A Orozco, M Rojas, M E Sánchez, V Cervantes (1997)** La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. 1ª edición. Fondo de Cultura Económica. México. 170 p.
- Youseff M M, A El-Aal, L Sherib, H M Ziena (1987)** Effects of dehulling and germination on chemical composition, mineral elements and protein patterns of faba beans (*Vicia faba* L.) *Food Chemistry*. 23: 129-138.

## CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR

### 4.1 Introducción

Una manera de medir la diversidad genética de una población es mediante la caracterización agronómica lo que proporciona una estimación de la expresión de los genes funcionales. Actualmente la información fenotípica se complementa con el uso de marcadores moleculares para conocer de manera rápida, económica y confiable el polimorfismo presente en la población (FAO, 2010). Los marcadores moleculares funcionan como “delatores” de la presencia o ausencia de un gen que se localiza próximo a él (menos de 5 cM), su amplificación revela la presencia de uno o más alelos por locus, lo que permite hacer una identificación del individuo conocido como patrón alélico, cuando diversos organismos de una población presenten patrones similares será posible agruparlos.

Un tipo de estos marcadores son los de ADN que se basan en identificar las diferencias en pequeñas secuencias del ADN entre individuos (Karp *et al.*, 1998) de una población, son los más utilizados pues cubren todo el genoma, es posible evaluarlos en cualquier estado del desarrollo y no presentan interacciones intergénicas, además de su alta sensibilidad, por lo que detectan variaciones por mínimas que éstas sean. Razón por la cual son usados para localizar y aislar genes de interés, detectar la variabilidad genética existente entre individuos o especies e identificar nuevos materiales (Golstein *et al.*, 1994; Vendramin *et al.*, 1996 mencionados por Rentaria, 2007).

Los marcadores moleculares son segmentos de ADN con una ubicación específica en un cromosoma que revelan sitios de variación. En específico los microsatélites o SSR (*Secuencias Simples Repetidas*) son regiones del genoma que contienen arreglos de secuencias simples que van de 1 a 4 pares de bases repetidas entre 10 y 100 veces, originadas por un “deslizamiento” de la polimerasa durante la replicación o por entrecruzamiento desigual de cromosomas homólogos. Su longitud y polimorfismo dependen del número de veces que se repite la matriz. Son marcadores codominantes, neutros, localizados

mayoritariamente en regiones no codificantes que segregan de manera Mendeliana. Para su análisis se requiere de primers específicos de 20 a 30 pb que flanqueen la región repetida, lo que limita su uso si la especie a analizar es nueva (Martínez *et al.*, 2010).

En general, la investigación molecular en detección de genes en haba se ha centrado en los caracteres simples, más que en los codificados por múltiples genes. Enfocándose en el desarrollo de marcadores moleculares para resistencia a enfermedades, hábitos de crecimiento y los relacionados con el valor nutrimental de las semillas (contenido de taninos, vicina y convicina), hace falta investigar sobre genes ligados a la resistencia a sequía y heladas e incluso a la calidad de la producción a diferentes niveles (calidad alimenticia, calidad forrajera, etc.) (Torres *et al.*, 2010).

Gong *et al.* (2011) realizó un estudio enfocado en determinar la diversidad existente en 29 poblaciones de *Vicia faba* provenientes de China y Europa. Basados en secuencias EST (*Expressed Sequence Tag*), se obtuvieron 1 148 unigenes que fueron usados en la búsqueda de marcadores tipo **microsatélites**, se encontró que los más abundantes fueron las secuencias con tres pares de bases repetidas (44.86 %), seguidas de los di, penta, hexa y tetranucleótidos. El dendrograma realizado con los 11 marcadores detectados presentó a los cultivares de China y Europa en brazos diferentes, con una similitud de 38.46 % a 76.92 %, fue el cultivar chino c8 el que se encontró entre ambos grupos. Mientras que el estudio de cuatro SSRs realizado en 20 cultivares locales de Grecia, presentó un porcentaje de polimorfismo de 100 % (ISSR-3), 97 % (ISSR-5), 100 % (ISSR-8) y 98.1 % (ISSR-3), permitió clasificarlas en tres grupos: un grupo *minor* y dos subgrupos Mediterráneos (M1 y M2) (Terzopolous *et al.*, 2008). Aunado a ello, los SSRs han sido empleados en la determinación de cultivares resistentes a *Orobanche crenata*, el análisis de 54 microsatélites en 10 genotipos presentó un agrupamiento principal en los cinco genotipos resistentes: 'Vf136', 'Giza 402', 'Giza 429', 'Giza 674' y 'Giza 843', además del cultivar susceptible 'Rebaya 40' (Zeid *et al.*, 2009).

El objetivo de esta investigación fue realizar la caracterización de las 60 líneas seleccionadas de las tres colectas de *Vicia faba* con 23 marcadores tipo microsatélite para identificar las secuencias que detectan polimorfismo. Describir la diversidad genética entre las líneas y estimar sus relaciones genéticas.

#### 4.2 Materiales y métodos

Los análisis de laboratorio se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad de Frijol del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP, Campo Experimental Valle de México. La población en estudio consistió de 60 líneas seleccionadas en base a sanidad y rendimiento de tres colectas provenientes de los estados productores de Puebla y Oaxaca, además de cuatro testigos: *Vicia faba mayor*, *minor*, *equina* y *paucijuga*. El origen del germoplasma se presenta en el Cuadro 14. Las 60 líneas y los testigos se cultivaron durante el ciclo primavera-verano 2013 en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, bajo un diseño de bloques completamente al azar, donde cada línea tuvo dos repeticiones (2 surcos) lo que dio un total de 128 surcos (unidades experimentales) con 25 individuos cada uno.

En la parte agronómica se evaluaron los parámetros inicio de floración, inicio de formación de vaina, días a madurez, altura de planta, número de tallos, número de flores por inflorescencia, número de vainas por planta y peso de las semillas por planta.

**Cuadro 14.** Características y origen de las colectas analizadas.

DENOMINACIÓN	LOCALIDAD	ALTITUD	TIPO DE SEMILLA
COLECTA 1	Tepexilotla, Zoquitlán, Puebla	780 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>minor</i>
COLECTA 2	Tetela de Ocampo, Puebla	1760 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>minor</i>
COLECTA 3	Tlaxiaco, Oaxaca	2040 msnm	<i>V. faba</i> tipo <i>equina</i>

En las semillas procedentes de las líneas seleccionadas se evaluaron las características de calidad: peso de 100 semillas, porcentaje de testa, cinética de

imbibición, capacidad de absorción, tiempo de cocción y porcentaje de sólidos en caldo se realizaron de acuerdo con la metodología indicada por Guzmán, *et. al.* (1995). El color de de semilla y del caldo de cocción se determinó a través del sistema CIELAB, se obtuvieron las variables  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , además del croma y hue°. La claridad ( $L^*$ ) va desde 0 para el negro hasta 100 para el blanco;  $a^*$  indica la posición entre el rojo (+) y el verde (-); mientras que  $b^*$  muestra la posición entre amarillo (+) y azul (-). El croma (C) indica la viveza o apagado de un color de acuerdo con la cantidad de gris que contiene y el hue° (h) es el atributo que distingue un color de otro en el círculo cromático de acuerdo a la longitud de onda del color dominante, varía entre 0° y 360°.

En la parte nutrimental se determinó el contenido de proteína según la metodología indicada en la AOAC 46.10 (2001), el contenido de lípidos en base a AOAC 925.39C (1990), mientras que los taninos se cuantificaron de acuerdo con la metodología indicada por Burns (1971).

El análisis molecular se realizó al tomar 2 individuos de cada uno de los surcos del diseño de bloques completamente al azar anteriormente descrito, se tuvieron en total 4 individuos por línea, incluyendo los testigos, lo que dio un total de 256 muestras procesadas por cada marcador molecular.

#### **4.2.1 Extracción de ADN**

La extracción de ADN se obtuvo 180 a 200 g de tejido joven de hoja apical de cada individuo colectado en campo, el cual se mantuvo bajo condiciones de refrigeración mientras se transportó al laboratorio. El tejido se colocó en tubos *Eppendorf*, se le adicionó nitrógeno líquido para moler la muestra con ayuda de un taladro implementado con un pistilo. Se extrajo con 700  $\mu$ L de buffer de extracción (Tris 100 mM pH 8, EDTA 20 mM pH8, NaCl 1.0 M,  $\beta$ -mercaptoetanol 1 %, PVP 1 %, 60  $\mu$ L de SDS al 20 %) y se colocó en baño maría marca Cole Parmer a 65 °C por 20 min, tras lo cual se precipitó con 600  $\mu$ L de una solución de cloroformo-alcohol isoamílico (24:1) y se mezcló por inversión durante 15 min. Posteriormente se centrifugó 15 710 g (13000 rpm) por 10 min en centrífuga

Eppendorf Modelo 5415 D (Hamburgo, Alemania), el sobrenadante se transfirió con punta biselada a un tubo Eppendorf que contenía 700  $\mu\text{L}$  de isopropanol pre-enfriado y se incubó a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 15 min, después se centrifugó a 15 710 g por 5 min, se descartó el sobrenadante y se invirtió el tubo para secar la pastilla a temperatura ambiente.

Para desnaturalizar los remanentes de RNA, se agregó 100  $\mu\text{L}$  de buffer TE50 (Tris HCl 50 mM a pH 8) y 4  $\mu\text{L}$  de RNAsa (10 mg/mL), se incubó a  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 15 min en baño maría. La muestra se precipitó con 1 mL de etanol absoluto frío y se dejó reposar por 15 min, posteriormente volvió a centrifugarse a 15 710 g durante 5 min, se descartó el sobrenadante y se secó la pastilla por inversión, la cual se lavó con 1 mL de ETOH al 70 % frío. El ADN obtenido fue suspendido en 100  $\mu\text{L}$  de buffer TE10 (Tris 10 mM a pH 8) y se refrigeró a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.2.2 Cuantificación de ADN**

La concentración y pureza obtenidos se determinó en un espectrofotómetro Nanodrop Modelo ND-1000 versión 3.2.1 (Hamburgo, Alemania), donde la relación 260/280 nm da una estimación de la pureza de los ácidos nucleicos. Posteriormente se corrió 2  $\mu\text{L}$  de muestra más 3  $\mu\text{L}$  del buffer de carga: azul de bromofenol en un gel de agarosa al 1.4 % disuelta en TBE 1X con 270  $\mu\text{L}$  de Bromuro de Etidio (500  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) en una cámara de Electroforesis Horizontal de 12 x 24 cm Modelo Sunrise TM 96 de Life Technologies, se usaron 2  $\mu\text{L}$  del marcador fago lambda HindIII (50 ng/ $\mu\text{L}$ ). La electroforesis se realizó a 105 V por 1 h, tras lo cual se visualizó en un transiluminador UV Bio-imaging Systems 'Gel Logic' 100 (Israel) con el programa Kodak Molecular Imaging versión 4.5.1. La concentración de ADN se calculó por regla de tres al comparar su intensidad con la del fago lambda HindIII (100 ng), las muestras se diluyeron con agua bidestilada estéril hasta 10 ng/mL para emplearlas en el análisis de PCR en el termociclador Techne TC-512 marca Scientific Ltd. (Inglaterra).

### 4.2.3 Marcadores moleculares

#### Microsatélites

Se determinaron y optimizaron las condiciones necesarias para realizar la reacción de PCR para cada microsatélite (Invitrogen) se compararon las temperaturas de los primers reportadas por el proveedor con el cálculo '*Oligo cal*' en internet, en total se determinaron las condiciones para 15 microsatélites mismos que se reportan en los Cuadros 15 y 16.

Se identificó la presencia o ausencia de polimorfismo en las líneas seleccionadas de las tres colectas. De los 23 microsatélites analizados, doce fueron polimórficos (GA6, GAI1, GAI18, GAI12, GAI54, GAI59, GAI67, JF1-AAC2, JF1-AAC3, JF1-AG2, SM11 Y SM15), cuatro fueron no polimórficos (GA4, GAI30, GAI68 y SM9) y siete no dieron bandas con buena resolución. Posteriormente se realizó la amplificación de cada microsatélite en el total de las muestras, se analizaron 6 microsatélites de 20 pb (GAI18, GAI59, GAI54, GAI67, JF1-AAC3, GAI1). Para la mezcla de reacción se hizo un ajuste entre lo reportado por Cruz (2009) y Jordán (2011) que consistió en preparar una mezcla de reacción con un volumen final de 12.5 ng/ $\mu$ L que incluía 5.5  $\mu$ L de agua bidestilada estéril, 1.2  $\mu$ L de buffer 10X con cloruro de magnesio (20 mM), 0.6  $\mu$ L de dNTPs (2.5 mM de cada uno), 0.20  $\mu$ L de Taq ADN polimerasa (5 U/ $\mu$ L), 1  $\mu$ L de primer tomando 0.5  $\mu$ L de forward (20 mM) y 0.5  $\mu$ L de reverse (20 mM) y 4.5  $\mu$ L de ADN genómico de la muestra diluido (10 ng). Las reacciones de PCR se realizaron en el termociclador Techne TC-512, bajo las condiciones indicadas.

Los productos amplificados se corrieron en gel de agarosa al 1.4 % (225mL) diluida en TBE 1X con 270  $\mu$ L de Bromuro de Etidio (500  $\mu$ L mL<sup>-1</sup>) en una cámara de Electroforesis Horizontal de 12 x 24 cm Modelo Sunrise TM 96 de Life Technologies, se emplearon 3  $\mu$ L del buffer de carga (azul de bromofenol) por cada muestra. La electroforesis se realizó a 105 V por 1 h, tras lo cual se visualizó en un transiluminador UV Bo-Imaging Systems 'El logic' 100 con el programa Kodak Molecular Imaging Versión 4.5.1. Se emplearon 2 marcadores por gel: (1) 2  $\mu$ L del marcador fago lambda HindIII 50ng/ $\mu$ L y (2) 1  $\mu$ L del marcador en escalera  $\phi$ X174 DNA/BSuRI (HaeII) 50 ng/ $\mu$ L

**Cuadro 15.** Secuencia, ubicación cromosómica y condiciones de reacción de los microsátélites analizados.

PRIMER	FORWARD 5'→ 3'	REVERSE 5'→ 3'	UBICACIÓN <sup>a</sup>		TH (°C)	TIEMPO (min)	CICLOS	PRODUCTOS PCR (pb)
			GL	CRM				
GA4	GAACAAAGGTGTACACGCGGG	GGGGTAGATCTTGTTTTCC	GL08	I.A	68 - 62	0.5	23	232
GA6	GAAAGGTTTTCTGATCCAACA	GACAGGTACGTAGACCCACGC	SL		63 - 51	0.5	26	184
GAI1	GTTGAGGCAGGTTAGGAGGG	GTTTGCCAGTTGCTTTGTTCCAG	SL		66 - 51	0.5	35	282
GAI18	GTTATTATTATGTACGCGCGCTGC	GAATAAGCAGAAAACCGCAGCT	GL02	II	63 - 51	0.5	26	351
GAI130	GGAAAAATATGATGAAAAAGCCGC	GAGTCGATATCACGTCGGAGG	GL08	I.A	65 - 55	0.5	25	281
GAI154	GGTCACACATCAAGCATTGG	GCATGGCGTTTTAGGGTG	SL		66 - 58	0.5	35	251
GAI159	GTAATGTGGCCCAATCCAATT	GTGAATTGTTGAAGATGGATGAA	GL07	V	66 - 58	0.5	35	250
GAI167	GATTCAGAGAAAAGGTGGAAG	GTCACATGATGAAGCTAGATGGC	SL		66 - 55	0.5	35	248
GAI168	GATGTGAAGCGCAAGTGACTG	CGAATTTCCGTCAGTGCC	GL04	I.A	66 - 51	0.5	35	285
JF1-AAC2	GATGTATGCGACACAACATGTAT	GCTCACATCCAAAAGTTGAATC	SL		66 - 51	0.5	35	136
JF1-AAC3	GCCAACTTAACGAGCATCAGC	CTGAATTGAGAAAATTGCAGG	SL		66 - 51	0.5	35	183
JF1-AG2	CAAAGCAGTTTTTGTACATGG	TTGTTAAACTAAATAATGGCGTG	SL		65 - 55	0.5	35	181
SM9	GGCAGTGAGGTTTCATTTCC	GGCATCCCTGGTTGATCAATC	SL		66 - 51	0.5	35	184
SM11	GTGGTCGAAAAACCTGACAAGA	GGAGCATCCTGAAATCCAAGTACC	SL		66 - 51	0.5	35	211
					65 - 55	0.5	25	
SM15	GCGATCATATAGGGGAATGG	GGGTGAAGGAGAGGGAAAAAGG	SL		66 - 51	0.5	35	173

SL: sin ligamiento, GL: Grupo de ligamiento, CRM: Cromosoma en *Vicia faba*<sup>a</sup> reportados por Pozarcova et al. (2002), Román et al. (2004) y Cruz (2009),

RTH: Temperatura de hibridación, pb: pares de base

**Cuadro 16.** Condiciones de amplificación para los microsátélites

FASE	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)	CICLOS
Precalentamiento	95	3	1
Desnaturalización	95	0.3	
Hibridación	Ver cuadro 14		
Extensión	72	1	
Extensión final	72	10	1
Enfriamiento	4		$\infty$

Con las bandas obtenidas por cada colecta con los seis marcadores se realizó una base de datos en Microsoft Office Excel 2007 y NT Edit Versión 1.2j mediante un código binario donde se indicó su ausencia o presencia. En el programa NTSYSpc 2.11X se calculó una matriz de similitud mediante el Coeficiente de Jaccard ( $CJ \approx$ ). Con los datos resultantes y construcción de la matriz, se realizó un análisis de conglomerados de agrupación jerárquica (SAHN) por el método de medias aritméticas (UPGMA) y se generó el dendrograma correspondiente (Núñez *et al.*, 2010).

### 4.3 Resultados y discusión

Debido al empleo de un número limitado de marcadores, no fue posible observar una agrupación robusta entre las colectas y líneas, sino tendencias en el dendrograma que se muestra en la Figura 13. Al determinar el punto de corte en 0.743 se definen cinco grupos: (1), (2) y (3) con líneas que forman grupos independientes, (4) con líneas cercanas a los testigos *V. faba* tipo *mayor* y *V. faba* tipo *paucijuga* y (5) que presenta en  $CJ \approx 0.792$  un punto de divergencia que formó dos subgrupos: (5a) con líneas independientes y (5b) con líneas similares a *V. faba* tipo *equina* y líneas cercanas y similares a *V. faba* tipo *minor*.

En el grupo 1 destacan las líneas independientes 'MON12-159', 'MON12-112' y 'MON12-100' de *V. faba* tipo *minor* y en el grupo 2 la línea 'MON12-51' de *V. faba*

tipo *equina*, las cuales presentan similitud en caracteres agronómicos y de calidad como porcentaje de testa, porcentaje de absorción, color de caldo de cocción, alto contenido de proteínas, días a inicio de formación de vaina, días a madurez, número de flores por inflorescencia, número de vainas por planta y peso de semilla por planta.

En el tercer grupo se localizan las líneas 'MON12-110' de la colecta 2, 'MON12-48', 'MON12-55' y 'MON12-119' de la colecta 3 cercanas a *V. faba* tipo *mayor* y las líneas 'MON12-101', 'MON12-129' de la colecta 1 y 'MON12-166' de la colecta 3 cercanas a *V. faba* tipo *paucijuga*. Las líneas agrupadas con el testigo *V. faba* tipo *equina* son similares en cuanto al hue° de color de la semilla, la variable b\* en color de caldo de cocción, el porcentaje de sólidos en caldo, los días a inicio de floración y días a inicio de formación de vaina. Mientras que las líneas agrupadas con el testigo *V. faba* tipo *minor* son similares en el porcentaje de testa, tiempo de cocción y número de flores por inflorescencia.

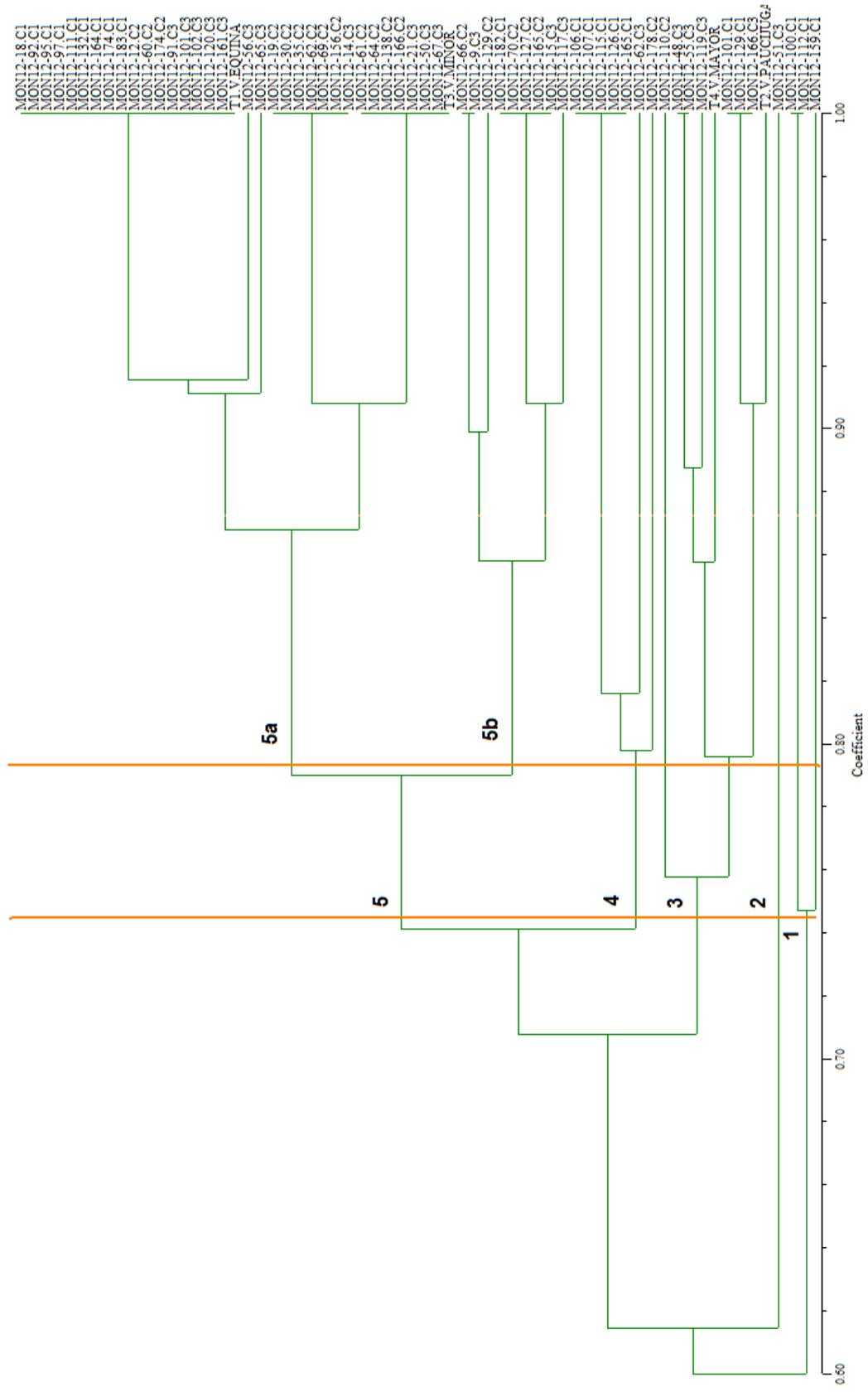
En el cuarto grupo sobresalen las líneas 'MON12-106', 'MON12-107', 'MON12-115', 'MON12-126' y 'MON12-165' de la colecta 1, 'MON12-178' de la colecta 2 y 'MON12-62' de la colecta 3 que son similares en las variables L\*, a\*, b\*, el tono y croma del color de la semilla, en el porcentaje de testa y en los parámetros agronómicos días a floración, días a formación de vaina y número de flores por inflorescencia.

El subgrupo independiente 5a se encuentra conformado por líneas de la colecta 1. Esta cercanía en relaciones genéticas coincide con la similitud en características de calidad y nutrimentales como color de la semilla, porcentaje de testa, tiempo de cocción, color de caldo de cocción, porcentaje de taninos, y en los parámetros agronómicos días a floración, días a inicio de formación de vaina y días a madurez fisiológica. Mientras que en el subgrupo 4b se observan líneas de las tres colectas asociadas con el testigo *V. faba* tipo *equina*, además de líneas de las colectas 2 y 3 asociadas con *V. faba* tipo *minor*. Estos datos son similares a lo reportado por Serradilla *et al.* (1993) al analizar izoenzimas en 26 poblaciones de haba de

diferente tipo botánico provenientes de distintas zonas geográficas, quien reportó una gran cercanía entre los tipos botánicos minor, equina y mayor.

La agrupación de líneas por tipo botánico podría deberse a la evolución de la especie, ya que la selección recurrente por los agricultores de la India y el Cercano Oriente de semilla delgada y larga en *V. faba* tipo *minor* dio origen a *V. faba* tipo *equina*, que a su vez dio lugar a *V. faba* tipo *mayor* al ser seleccionada por los agricultores romanos y chinos, se considera que tanto la dispersión de la semilla como la selección artificial contribuyeron a dicha evolución (Serradilla *et al.*, 1993; Duc, 1997). De acuerdo con Suso *et al.* (1983) los caracteres más influenciados por la domesticación fueron los relacionados con la vaina y la semilla (componentes de rendimiento), seguidos por los fisiológicos como el número de flores por inflorescencia y la densidad de hojas, los cuales fueron el punto crucial en la domesticación, así como la selección de semillas delgadas (*mayor y equina*) en vez de las redondas o subcilíndricas (*minor y paucijuga*).

El análisis de agrupación mostró la posibilidad de obtener líneas que compartan características similares (marcadores moleculares) dentro de una población, además de inferir análisis evolutivo en poblaciones de interés y análisis comparativo entre especies cuando se utilizan marcadores comunes.



**Figura 13.** Dendrograma molecular con base en seis marcadores tipo microsatélites analizados en 3 colectas de *V. faba* L. 20 líneas pertenecieron a *V. faba* tipo *minor*, 10 líneas de *V. faba* tipo *equina* y los cuatro testigos utilizando el coeficiente de Jaccard

#### 4.4 Conclusiones

De los 23 marcadores tipo microsatélite ensayados se obtuvieron doce polimórficos (GA6, GAI1, GAI18, GAI12, GAI54, GAI59, GAI67, JF1-AAC2, JF1-AAC3, JF1-AG2, SM11 y SM15); cuatro no polimórficos (GA4, GAI30, GAI68 y SM9) y siete que no dieron bandas con buena resolución.

En el dendrograma se obtuvieron cuatro grupos: (1) y (3) con líneas que forman grupos independientes, (2) con líneas cercanas a los testigos *V. faba* tipo *major* y *V. faba* tipo *paucijuga* y (4) con dos subgrupos: (4a) con líneas independientes y (4b) con líneas similares a *V. faba* tipo *equina* y líneas cercanas y similares a *V. faba* tipo *minor*

Destacan las líneas independientes 'MON12-159', 'MON12-112', 'MON12-100' de *V. faba* tipo *minor* y 'MON12-51' de *V. faba* tipo *equina* en el grupo uno, debido a similitudes en porcentaje de testa, porcentaje de absorción, color de caldo de cocción, alta concentración de proteínas, días a inicio de formación de vaina, días a madurez fisiológica, número de flores por inflorescencia, número de vainas por planta y peso de semilla por planta.

En el subgrupo 4b se ubicaron líneas de las tres colectas asociadas con el testigo *V. faba* tipo *equina* y líneas de las colectas 2 y 3 asociadas con *V. faba* tipo *minor*, esta cercanía entre diferentes variedades botánicas podría deberse a la evolución y domesticación que tuvo la especie.

#### 4.5 Literatura citada

- Cruz I, S (2009)** Identificación de genes y QTLs relacionados con la domesticación y el rendimiento en la especie *Vicia faba*. Relaciones de sintenia con otros cultivos relacionados. Tesis de Doctorado. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. 194 p.
- Duc G (1997)** Faba bean (*Vicia faba* L.) *Field Crops Research*. 53: 99-109.
- Division Food and Agriculture Organization. FAO (2010)** Estado de la cuestión en la gestión de los recursos zoogenéticos. Marcadores moleculares: una herramienta para explorar la diversidad genética. Roma. 555 p.
- Golstein D B, D D Pollok (1994)** Least-squares estimation of molecular distance-noise abatement in phylogenetic reconstruction. *Theoretical Applied Genetics*. 12:432-440.
- Gong y, S Xu, W Mao, Z Li, Q Hu, G Zhang, J Ding (2011)** Genetic diversity analysis of faba bean (*Vicia faba* L.) based on EST-SSR markers. *American Journal of Botany*. 10 (6):838-844.
- Jordan A, B (2011)** Contenido de taninos y caracterización molecular de variedades de haba (*Vicia faba* L.) cultivadas por agricultores. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Puebla, Puebla. 66 p.
- Karp A, K Edwards (1998)** DNA markers: a global overview. DNA markers: protocols, applications and overviews In: G. Caetano- Anollés. New York. 13 p.
- Kibbe W A (2007)** 'OligoCalc: an online oligonucleotide properties calculator'. *Nucleic Acids Research*. 35: 25. Consultado 15-04-2013 en <http://www.basic.northwestern.edu/biotools/oligocalc.html>
- Martínez M C, M Helguera, A Carrera (2010)** Biotecnología y mejoramiento vegetal II. Marcadores moleculares. 70-85 p.
- Núñez C C A, E Valadez M (2010)** Análisis estadístico de huellas genómicas. Uso práctico de los paquetes computacionales más populares. Libro científico No.1 INIFAP, Celaya, Guanajuato, México. 103 p.
- Pozarkova D, A Koblizkova, B Román, A M Torres, S Lucretti, M Lysak, J Dolezel, J Macas (2002)** Development and characterization of microsatellite markers from chromosome 1-specific DNA libraries of *Vicia faba*. *Biologia Plantarum*. 45: 337-345.

- Rentaria A, M (2007)** Breve revisión de los marcadores moleculares. In: Ecología molecular. Instituto. Nacional de ecología (eds.) SEMARNAT, México, DF. 541-566 p.
- Román B, Z Satovic, D Pozarkova, J Macas, J Dolezel, J I Cubero, A M Torres (2004)** Development of a composite map in *Vicia faba*, breeding applications and future prospects. *Theoretical and Applied Genetics*. 108: 1079-1088.
- Serradilla J M, T de Mora, M T Moreno (1993)** Geographic dispersión and varietal diversity in *Vicia faba* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 40:143-151.
- Suso M J, J I Cubero (1985)** Genetic changes under domestication in *Vicia faba*. *Theoretical and Applied Genetics*. 72:364-372.
- Terzopoulos P J, P J Bebeli (2008)** Genetic diversity analysis of Mediterranean faba bean (*Vicia faba* L.) with ISSR markers. *Field Crop Research*. 108:39-44.
- Torres A M, C M Avila, N Gutierrez, C Palomino, M T Moreno, J I Cubero (2010)** Marker-assisted selection in faba bean (*Vicia faba* L.) *Field Crops Research*. 115:243-252.
- Vendramin G G, L Lelli, P Rossi, M Morgante (1996)** A set of primers for the amplification of 20 chloroplast microsatellites in Pinaceae. *Molecular Ecology*. 5:595-598.
- Zeid M, S Mitchell, W Link, M Carter, A Nawar, T Fulton, S Kresovich (2009)** Simple sequence repeats (SSRs) in faba bean: new loci from *Orobanche*-resistant cultivar 'Giza 402'. *Plant Breeding*. 128:149

## ANEXOS

### ANEXO I. Consumo per cápita

Para estimar el consumo de haba en el mundo y en México se utilizó el concepto de Consumo aparente, el cual se obtiene a partir de la suma de la producción y de las importaciones menos las exportaciones, siendo un indicador de la disponibilidad de ese producto para el consumo mundial y nacional.

$$\text{Consumo per cápita} = \frac{\text{Consumo aparente}}{\text{Número total de habitantes}}$$

$$\text{Consumo per cápita} = \frac{\text{Producción nacional} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}}{\text{Número total de habitantes}}$$

Población mundial por Population Reference Bureau (2011): 2011: 6 986 951 000 habitantes.

**Cuadro 17.** Consumo per cápita de las leguminosas en el mundo de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

LEGUMINOSA	PRODUCCIÓN (Kg)	IMPORTACIÓN (Kg)	EXPORTACIÓN (Kg)	CONSUMO PER CÁPITA (Kg/año)
Frijol	23 177 669 000	3 321 726 000	3 393 895 000	3.3069
Chícharo verde	17 361 839 000	241 666 000	205 332 000	2.4900
Chícharo seco	97 794 460 000	4 316 719 000	4 820 937 000	1.3275
Garbanzo	11 749 859 000	1 114 171 000	1 158 957 000	1.8184
Lenteja	4 426 178 000	1 918 223 000	1 963 981 000	0.6269
Haba	4 233 497 000	587 712 000	799 277 000	0.5756

Elaboración propia con datos de FAOSTAT, 2011

Población en México según CONAPO (2011): 115 682 868 habitantes

**Cuadro 18.** Consumo per cápita de las leguminosas en México de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

LEGUMINOSA	PRODUCCIÓN (Kg)	IMPORTACIÓN (Kg)	EXPORTACIÓN (Kg)	CONSUMO PER CÁPITA (Kg/año)
Frijol	567 779 000	104 897 000	37 593 000	5.4898
Ejote	69 289 000	54 000	33 521 000	0.3096
Lenteja	8 224 000	45 943 000	605 000	0.4630
Chícharo verde	47 077 000	5 000	11 734 000	0.3055
Chícharo seco	1 424 000	16 554 000	231 000	0.1534
Garbanzo	72 143 000	378 000	52 515 000	0.1724
Haba	9 785 000	4 095 000	349 000	0.1169

Elaboración propia con datos de FAOSTAT, 2011

**Cuadro 19.** Importaciones y exportaciones en México de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera

LEGUMINOSA	IMPORTACIÓN ENE-JUN 2012 (Kg)	IMPORTACIÓN JUL-DIC 2012 (Kg)	EXPORTACIÓN ENE-JUN 2012 (Kg)	EXPORTACIÓN JUL-DIC 2012 (Kg)
7.08 Hortalizas de vaina, aunque estén desvainadas, frescas o refrigeradas				
Chícharo ( <i>Pisum sativum</i> ).	2 707	2 492	9 304 292	5 219 354
Frijol ( <i>Vigna spp.</i> , <i>Phaseolus spp.</i> )	21 740	18 038	20 568 030	13 242 997
7.13 Hortalizas de vaina secas desvainadas, aunque estén mondadas o partidas				
Chícharo ( <i>Pisum sativum</i> ).	234 138	80 748 893*	59 139*	10 626
Los demás	0	4 656	20 203 306	10 504 492
Garbanzo	217 834	0	113 159 514	99 294 732
Frijoles ( <i>Vigna spp.</i> , <i>Phaseolus spp.</i> )**				
Frijol para siembra	1 131 536	5 16 794	32 614	63 898
Frijol blanco	2 205 223	3 824 537	433 567	118 626
Frijol negro	39 700 617	54 800 312	279 997	289 577
Los demás frijoles	83 023 146	48 407 421	7 409 260	7 225 642
Otras leguminosas	1 170 018	84 137	982 210	5 405
Lentejas	19 394 130	21 323 870	208 020	222 239
Habas ( <i>Vicia faba var. major</i> ), haba caballar ( <i>Vicia faba var. equina</i> ) y haba menor ( <i>Vicia faba var. minor</i> )	1 196 285	927 277	135 656	108 499
Las demás ( <i>Cacajus cajan</i> )	0	0	0	19 265

\* Incluye semilla para siembra y otros usos, \*\* en el frijol no se considero el frijol *Vigna mungo*, *Vigna radiata*, ni Frijol adzuki.

Elaboración propia con datos de INEGI, 2013

Población en México según CONAPO (2012): 117 053 750 habitantes

**Cuadro 20.** Consumo per cápita de las leguminosas en México de acuerdo con el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera

LEGUMINOSA	PRODUCCIÓN (Kg)	IMPORTACIÓN (Kg)	EXPORTACIÓN (Kg)	CONSUMO PER CÁPITA (Kg/año)
Frijol	1 080 856 660	233 609 586	15 853 181	11.0941
Ejote	93 818 230	39 778	33 811 027	0.5129
Garbanzo	271 893 770	217 834	212 454 246	0.5097
Chícharo*	60 655 750	8 314 230	14 593 411	0.4645
Lenteja	5 157 13	40 718 000	430 259	0.3882
Haba seca	23 072 680	2 123 562	244 155	0.2132

\* Incluye chícharo seco y verde

Elaboración propia con datos de SIAP, 2012

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2012 realizada del 27 de agosto al 2 de diciembre 2012, con resultados a nivel nacional en el ámbito rural y urbano, el consumo de leguminosas en México se presenta en periodo de siete días en el cuadro siguiente:

**Cuadro 21.** Consumo de leguminosas en los hogares en base al gasto diario

PRODUCTO		FRIJOL	LENTEJA	HABA	CHICHARO	GARBANZO
CLAVE ENIGH		A137	A140	A139	A114	A138
Semana 1	26AGO- 01SEP	687.12	30.18	14.00	11.40	1.90
Semana 2	05SEP- 11SEP	591.50	34.09	10.87	10.52	4.20
Semana 3	15SEP- 21SEP	588.23	19.15	37.75	9.44	7.70
Semana 4	25SEP- 01OCT		29.20	9.18	14.51	2.90
Semana 5	05OCT-11OCT	667.37	38.4	5.15	11.31	1.75
Semana 6	15OCT- 21OCT		23.75	12.75	13.88	6.00
Semana 7	25OCT- 31OCT	496.52	83.15	12.76	6.63	5.70
Semana 8	04NOV- 10NOV		34.15	6.75	6.76	2.95
Semana 9	14NOV- 20NOV	614.21	13.70	2.50	6.35	1.50
	Promedio mes 1	622.28	28.16	17.95	11.47	4.18
	Promedio mes 2	581.94	44.86	9.35	9.65	4.10

Elaboración propia con datos de ENIGH, 2012

## ANEXO II. Datos meteorológicos

Datos meteorológicos de temperatura máxima, mínima, media y precipitación obtenidos durante los ciclos Primavera-Verano 2012 y Primavera-verano 2013 en el Campo Experimental de Montecillo, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.

DIA	FEBRERO 2012				FEBRERO 2013				MARZO 2012				MARZO 2013			
	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp
	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)
1	22	4	12.7	*	*	-3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	26	-1.5	12.3	*	*	*	*	*	*	-2	*	*	*	*	*	*
3	*	-3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	26.5	*	*	*
5	*	*	*	*	28	*	*	*	27	-2	12.5	*	28.5	-7	10.8	*
6	*	*	*	*	29	-1.5	13.8	*	30	-4	13	*	29.5	-3	13.3	*
7	19	4	11.5	*	30	-0.5	14.5	*	31	-2	14.5	*	31	-2	14.5	*
8	25	6	15.5	*	*	*	*	*	31.5	*	15.8	*	*	*	*	*
9	23	4	13.5	*	*	*	*	*	*	1	*	*	*	*	*	*
10	*	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	*	*	*	*	30	*	*	*	*	*	*	*	31	*	*	*
12	*	*	*	*	30	-4.5	12.7	*	*	*	*	*	31	1	16	*
13	25	*	*	*	30	-5	12.5	*	28	*	*	*	28	-0.5	13.8	*
14	25	10	17.5	*	29	-5	12	*	27.5	-4	11.7	*	22	3.5	12.7	*
15	28	5.5	16.7	17.3	*	-3	*	*	30	-1.5	14.2	16.6	*	5.5	*	*
16	25	3	14	*	*	*	*	*	*	-1	*	*	*	*	*	*
17	*	0.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
18	*	*	*	*	28	-4	11.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19	*	*	*	*	30	-2	14	*	*	*	*	*	31	*	*	*
20	29	*	*	*	30	-3.5	13.3	*	27	9	18	*	30	3	16.5	*
21	29	*	14.5	*	28	-1.5	13	*	28	-3	12.5	*	31.5	1	16.3	*
22	28	*	14	*	*	-1	*	*	29	6	17.5	*	*	5.5	*	*
23	29	*	14.5	*	*	*	*	*	*	-2	*	*	*	*	*	*
24	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25	*	*	*	*	30	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
26	*	*	*	*	*	7.5	*	*	29	*	*	*	*	*	*	*
27	28	*	*	*	28	*	*	*	30.5	*	15.2	*	*	*	*	*
28	29	-3	13	*	*	1	*	*	32	1.5	16.7	*	*	*	*	*
29	*	*	-3.5	*	*	*	*	*	28	6	17	*	*	*	*	*
30									*	2	*	*	*	*	*	*
31									*	*	*	*	*	*	*	*

MIN: Temperatura mínima, MED: Temperatura media, MAX: Temperatura máxima, pp: Precipitación, \*: Dato ausente.

Continuación...

DIA	ABRIL 2012				ABRIL 2013				MAYO 2012				MAYO 2013			
	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp
	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)
1	*	*	*	*	30	*	*	*	33.5	*	*	*	*	*	*	*
2	*	*	*	*	30	5.5	17.7	*	36	4	20	*	29	*	*	*
3	*	*	*	*	30	5.5	17.7	*	35	5	20	*	*	4.5	*	*
4	*	*	*	*	31	*	15.5	*	*	2.5	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	28	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	34	*	*	*	28.5	4	16.3	*
8	*	*	*	*	31	*	*	*	32	7.5	19.8	*	29.5	7	18.3	*
9	30	*	*	*	30	5	17.5	*	*	12	*	*	*	9.5	*	*
10	30	*	15	*	32.5	3	17.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	*	12.5	*	*	32	2	17	*	*	*	*	*	*	*	*	*
12	*	*	*	*	*	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	27.5	*	*	*
14	*	*	*	*	*	*	*	*	27	*	*	*	27.5	11	19.2	*
15	*	*	*	*	32	*	*	14.7	29	6	17.5	14.3	28.5	6	17.3	19.6
16	33	*	*	*	33	3	18	*	31	7.5	19.2	*	*	7.5	*	*
17	27	1	14	*	34	4	19	*	27	11	19	*	*	*	*	*
18	27	*	13.5	*	34	4	19	*	*	7	*	*	*	*	*	*
19	30	1	15.5	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
20	*	2.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	29	*	*	*
21	*	*	*	*	*	*	*	*	27	*	*	*	29	9	19	*
22	*	*	*	*	31	*	*	*	29	*	14.5	*	30	7	18.5	*
23	27	*	*	*	31.5	10.5	21	*	31	2	16.5	*	29	8.5	18.8	*
24	28	-7	10.5	*	30	10.5	20.3	*	34	5	19.5	*	*	7.5	*	*
25	28	-3	12.5	*	29	10.5	19.8	*	*	7	*	*	*	*	*	*
26	30.5	-8	11.3	*	*	6.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
27	*	-3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	25	*	*	*
28	*	*	*	*	*	*	*	*	30.5	*	*	*	29	5	17	*
29	*	*	*	*	28	*	*	*	32	6	19	*	28.5	9	18.8	*
30	*	8	*	*	*	3	*	*	33	-2	15.5	*	29	10	19.5	*
31									34.5	1.5	18	*	*	3	*	*

**MIN:** Temperatura mínima, **MED:** Temperatura media, **MAX:** Temperatura máxima, **pp:** Precipitación, \*: Dato ausente.

Continuación...

DIA	JUNIO 2012				JUNIO 2013				JULIO 2012				JULIO 2013			
	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp
	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	(mm)
1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	28	*	*	*
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	28	4	16	*
3	*	*	*	*	28.5	*	*	*	*	*	*	*	27.5	8.5	18	*
4	30	*	*	*	30	6.5	18.3	*	23	5	14	*	*	12.5	*	*
5	31	6	18.5	*	29	1	15	*	*	4	*	*	*	*	*	*
6	31	11	21	*	30	2	16	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	33	6	19.5	*	*	3.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	*	8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	23.5	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	*	*	27	*	*	*	27	7	17	*
10	*	*	*	*	29.5	*	*	*	24	10	17	*	27	7	17	*
11	34	*	*	*	28	11	19.5	*	27	6	16.5	*	*	12	*	*
12	34	7	20.5	*	25.5	10	17.7	*	*	12	*	*	*	*	*	*
13	34	4	19	*	28	10	19	*	*	*	*	*	*	*	*	*
14	33	3	18	*	*	9.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
15	*	5.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	27	*	*	34.5
16	*	*	*	*	*	*	*	*	27	*	*	*	23	7.5	15.2	*
17	*	*	*	*	28	*	*	*	25	6	15.5	*	25.5	7	16.3	*
18	28	*	*	*	27	4.5	15.8	*	22	7	14.5	*	25.5	12	18.8	*
19	23	12	17.5	*	29	5.5	17.3	*	26.5	8	17.3	*	*	10.5	*	*
20	19	11	15	*	21	12.5	16.7	*	*	7.5	*	*	*	*	*	*
21	23	12.5	17.7	*	*	12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
22	*	7.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	28	*	*	*
23	*	*	*	*	*	*	*	*	25.5	*	*	*	27.5	9	18.3	*
24	*	*	*	*	28	*	*	*	25	8	16.5	*	28	7	17.5	*
25	27	*	*	*	28	8	18	*	24.5	9.5	17	*	29	9.5	19.2	*
26	28	9	18.5	*	28	10	19	*	28	9	18.5	*	*	9.5	*	*
27	27	11	19	*	28	4	16	*	*	8	*	*	*	*	*	*
28	29	10	19.5	*	*	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
29	*	7.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	29	*	*	*
30	*	*	*	*	*	*	*	*	27	*	*	*	28	4.5	16.3	*
31									27.5	5.5	16.5	*	29	7	18	*

**MIN:** Temperatura mínima, **MED:** Temperatura media, **MAX:** Temperatura máxima, **pp:** Precipitación, \*: Dato ausente.

Continuación...

DIA	AGOSTO 2012				JAGOSTO 2013			
	TEMPERATURA			pp	TEMPERATURA			pp
	MIN	MED	MAX	(mm)	MIN	MED	MAX	mm)
1	28	4.5	16.3	*	29	8.5	18.8	*
2	27	5.5	16.3	*	*	6.5	*	*
3	*	7.5	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*	*	*	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*
12	*	*	*	*	*	*	*	*
13	*	*	*	*	*	*	*	*
14	*	*	*	*	*	*	*	*
15	*	*	*	*	*	*	*	*
16	*	*	*	*	*	*	*	*
17	*	*	*	*	*	*	*	*
18	*	*	*	*	*	*	*	*
19	*	*	*	*	27	*	*	*
20	25	*	*	*	28	11	19.5	*
21	23	12	17.5	*	24	9	16.5	*
22	24.5	9.5	17	*	27	6	16.5	*
23	27	9.5	18.3	*	*	9	*	*
24	*	12	*	*	*	*	*	*
25	*	*	*	*	*	*	*	*
26	*	*	*	*	23	*	*	*
27	25.5	*	*	*	25	10	17.5	*
28	26	10	18	*	27.5	10.5	19	*
29	26	4	15	*	25	7	16	*
30	26.5	5.5	16	*	*	6	*	*
31	*	8	*	*	*	*	*	*

**MIN:** Temperatura mínima, **MED:** Temperatura media, **MAX:** Temperatura máxima, **pp:** Precipitación, \*: Dato ausente.