



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS**

**CARACTERIZACIÓN DE 25 PROGENITORES DE HABA
PARA USARSE EN UN PROGRAMA DE SELECCIÓN MASAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

MARÍA TERESA OLIVEROS GONZÁLEZ

COMITÉ DE TUTORES

DIRECTORA DE TESIS

DRA. DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ

CODIRECTOR

DR. ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA

TUTOR ADJUNTO

DR. JOSÉ FRANCISCO RAMÍREZ DÁVILA



EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, MÉXICO, FEBRERO DEL 2025

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIAS	V
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN GENERAL	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	4
1.1 Objetivo general.....	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Hipótesis.....	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA	7
2.1 Origen geográfico.....	7
2.2 Importancia socioeconómica de haba verde.....	8
2.3 Países productores.....	9
2.4 Producción a nivel nacional.....	11
2.5 Producción estatal.....	12
2.6 Mejoramiento genético en haba.....	13
2.6.1 Importancia del mejoramiento.....	13
2.6.2 Sistema de reproducción de la especie.....	15
2.6.3. Descriptores varietales de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV).....	17
2.6.4. Descriptores varietales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).....	18
2.6.5 Importancia de la variabilidad genética en el mejoramiento.....	18
2.7 Heredabilidad en sentido amplio.....	20

2.8 Ganancia genética	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 Características geográficas del área de estudio	26
3.1.1 San Nicolás Guadalupe	27
3.1.2 San Francisco Oxtotilpan	27
3.2 Material genético	27
3.3 Diseño y tamaño de la parcela experimental	30
3.4 Manejo agronómico	32
3.5 Variables de estudios	34
3.5.1 Cuantitativas	34
3.5.2 Cualitativas	36
3.6 Análisis estadístico	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1 Variabilidad genética y heredabilidad en haba del centro mexiquense	38
4.2 Aplicación de descriptores varietales en <i>Vicia faba</i> L. en la caracterización de cultivares	59
V. CONCLUSIONES GENERALES	79
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Producción de leguminosas a nivel mundial en toneladas.....	8
2. Producción de haba en toneladas a nivel mundial.....	9
3. Rendimientos de haba en verde por país.	10
4. Producción a nivel nacional por tipo de haba.....	11
5. Estados que producen haba verde en México.	12
6. Listado de cultivares con clave de tratamiento y datos de sitio de colecta.	28

Artículo 1.

Variabilidad genética y heredabilidad en haba del centro mexiquense

	Página
1. Colectas de haba evaluadas en 2022 y 2023	43
2. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F, gran media (X), y coeficiente de variación (CV) en 13 caracteres cuantitativos medidos en 25 cultivares de haba.	46
3. Media aritmética (X), coeficiente de variación y heredabilidad (H ²) en 13 caracteres evaluados en 25 cultivares de haba.	47
4. Componentes de varianza (CV) y heredabilidad (H ²) en la serie de experimentos	49
5. Características de planta, follaje, flor y vaina en 25 cultivares de haba en dos ambientes del Estado de México.	54

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Ubicación de los municipios San Felipe del Progreso y Temascaltepec, Estado de México.....	26
2. Muestrario de cultivares colectados.....	29
3. Diseño de la parcela experimental.....	30
4. Croquis de localización de parcelas en San Nicolás Guadalupe.....	31
5. Medición de longitud, diámetro, espesor y peso de 100 semillas.....	36

Artículo 1.

Variabilidad genética y heredabilidad en haba del centro mexiquense.

1. <i>Interrelaciones entre 25 cultivares de haba (en número) y 13 variables agronómicas (en letra).</i>	51
--	----

Artículo 2.

Aplicación de descriptores varietales en *Vicia faba* L. en la caracterización de cultivares

1. Grado de contenido de taninos en las semillas.....	62
2. Tipos de forma de las semillas.....	63
3. Clasificación de tamaño de las semillas.....	64
4. Presencia de pigmentación antocianica en tallos.	65
5. Tono grisáceo del color verde en el follaje.....	66

6. Tono grisáceo del color verde en el follaje.....	67
7. Mancha de melanina en el estandarte.	68
8. Pigmentación antociánica en el estandarte.....	69
9. Extensión de la pigmentación antocianica en el estandarte.	70
10. Color de la mancha de melanina en la quilla.	71
11. Porte de la vaina ilustrativo en dibujo.....	72
12. Porte de la vaina en fotos.....	74
13. Grado de curvatura de la vaina.	75

RESUMEN GENERAL

El haba es la sexta leguminosa producida a nivel mundial, en México el principal productor en verde es el Estado de México. Es una especie parcialmente alógama, lo que hace caro y difícil el mantenimiento de la identidad genética de los cultivares, la semilla utilizada por los productores proviene de su propia selección, lo que han fijado genes de interés y representa una fuente importante de germoplasma. Por lo anterior, el objetivo principal del presente trabajo fue caracterizar una colecta del Estado de México, para evaluar la variabilidad genética como prerrequisito para iniciar un programa de mejoramiento. Se evaluaron 25 materiales en dos localidades del Estado de México, con un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, se realizó la caracterización agromorfológica y la estimación de los componentes de varianza (σ^2) y heredabilidad en sentido amplio (H^2) para 13 variables cuantitativas. Los resultados mostraron significancia estadística ($P \leq 0.01$) para ambientes (A), cultivares (G) y su interacción (A*G) en los caracteres evaluados.

La localidad de San Francisco Oxtotilpan registró los mayores rendimientos en vaina en fresco, el cultivar T25 de Santiago Tianguistenco, mostró superioridad en rendimiento ($20.18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), en peso por planta (656.25 g) y diámetro por vaina (2.65 cm). Las mayores H^2 variaron de 51.73 a 96.68%. Los caracteres con mayor heredabilidad fueron diámetro de vaina (DV, 96.68 %), espesor de vaina (EV, 94.06%) y longitud de vaina (LV, 89.56 %). Los valores de heredabilidad mayores al 50%, indican que existe amplia variabilidad genética entre los cultivares y que

estos caracteres son recomendables para ser usados en un programa de selección. El análisis de componentes principales explicó 63.62% de la variación total original; el rendimiento se correlacionó positiva y significativamente con EFI, NVP, DV, LV, PVP y REND. La predicción con la GAM indicó que con NVP, DV, PVP y REND se tendría mayor avance genético por selección. Para los caracteres cualitativos hubo poca variabilidad fenotípica.

Palabras clave: *Vicia faba* L., descriptores varietales, rendimiento de vaina en fresco, componentes principales.

ABSTRACT

Faba bean is the sixth most important legume produced worldwide; in Mexico, the main green bean producer is the State of Mexico. It is a partially cross-pollinated species, which makes it expensive and difficult to maintain the genetic identity of cultivars; the seed used by producers comes from their own selection, which has fixed genes of interest and represents an important source of germplasm. Therefore, the main objective of the present work was to characterize a collection from the State of Mexico, to evaluate genetic variability as a prerequisite to initiate a breeding program. Twenty-five materials were evaluated in two localities of the State of Mexico, with a randomized complete block experimental design with four replications. Agromorphological characterization and estimation of variance components (σ^2) and heritability in the broad sense (H^2) for 13 quantitative variables were carried out. The results showed statistical significance ($P \leq 0.01$) for environments (A), cultivars (G) and their interaction (AXG) in the evaluated characters.

The locality of San Francisco Oxtotilpan registered the highest yields in fresh pods, the cultivar T25 from Santiago Tianguistenco, showed superiority in yield (20.18 t-ha⁻¹), weight per plant (656.25 g) and diameter per pod (2.65 cm). The highest H² ranged from 51.73 to 96.68%. The traits with the highest heritability were pod diameter (DV, 96.68 %), pod thickness (EV, 94.06 %) and pod length (LV, 89.56 %). Heritability values greater than 50% indicate that there is wide genetic variability among cultivars and that these traits are recommended for use in a selection program. Principal component analysis explained 63.62% of the total original variation; yield was positively and significantly correlated with EFI, NVP, DV, LV, PVP and REND. Prediction with GAM indicated that NVP, DV, PVP and REND would have the greatest genetic advance by selection. For qualitative traits there was little phenotypic variability.

Key words: *Vicia faba* L., varietal descriptors, fresh pod yield, principal components.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El haba (*Vicia faba* L.) es la sexta leguminosa producida a nivel mundial, en México es una especie que se consume tanto en fresco como en seco, siendo mayor su producción en vaina verde (68,974.86 t), mientras que de grano seco (28,262.29 t) su contenido de proteína es de 23% (SIAP, 2023). En vaina verde los rendimientos alcanzan aproximadamente $6.84 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que en grano seco son de $1.67 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (SIAP, 2023). En México el principal estado productor de haba en verde es el Estado de México con una superficie de 4 835.14 has, seguido de Puebla, Michoacán, Tlaxcala y Veracruz. Los estados que presentan un mayor rendimiento son Baja California ($10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Michoacán ($9.54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Durango ($7.83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Puebla ($7.63 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Estado de México ($6.54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y Baja California sur ($6.30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (SIAP, 2023).

En los Valles Altos de México es una alternativa importante de producción debido a su tolerancia a bajas temperaturas, en esta región el 90% de la superficie sembrada es bajo condiciones de temporal. El Distrito de Desarrollo Rural que más ha contribuido a la producción de haba en estado fresco es el Distrito V de Coatepec Harinas con 10,236.75 t, seguido del Distrito I de Toluca con 9,858.27 t, en este último se cosechan 1,453.99 hectáreas (SIAP, 2023). Los municipios que poseen mayores rendimientos en el Estado de México son Calimaya ($10.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Lerma ($10.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Xonacatlán ($10.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Mexicalzingo ($10.07 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Chapultepec ($9.35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Valle de Bravo ($9.29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y San Felipe del Progreso ($9.18 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) (SIAP, 2023).

Una de las principales necesidades que existen en este cultivo es la disponibilidad de variedades mejoradas con mayor adaptabilidad y mejores características morfológicas y fisiológicas que eleven su potencial de rendimiento, pero al ser una especie parcialmente alógama, se hace caro y difícil el mantenimiento de la identidad genética de los cultivares (Pearce *et al.*, 2000; Duc *et al.*, 2010), la semilla utilizada por los productores proviene de su propia selección, lo que ha fijado genes de interés y representa una fuente importante de germoplasma, de la cual existe poca información documentada (Salazar *et al.*, 2019). La identificación de variabilidad genética entre y dentro de los cultivares permite seleccionar variedades con características agronómicas deseables y contribuye al aumento parcial de la producción y de la calidad de semilla (Yahia *et al.*, 2012).

Por lo tanto, estudiar la variabilidad genética presente de las colectas de la región, permite establecer las bases de un programa de mejoramiento genético basado en materiales que muestren cualidades sobresalientes para elevar el rendimiento y la calidad del cultivo. Por lo anterior, el presente trabajo establece los siguientes objetivos e hipótesis:

1.1 Objetivo general

Evaluar la variabilidad genética presente en una colecta de 25 materiales de haba provenientes del Estado de México.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar mediante descriptores varietales cualitativos y cuantitativos en una colecta de 25 cultivares de haba.

- Identificar los principales componentes asociados al rendimiento.
- Estimar la heredabilidad en sentido amplio para cada carácter.

1.3 Hipótesis

La variabilidad genética disponible en los cultivares de haba nos permitirá seleccionar genotipos sobresalientes para poder iniciar un programa de mejoramiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen geográfico

El haba es un cultivo antiguo que está representado en las colecciones por materiales cultivados únicamente. Los datos botánicos y moleculares sugieren que el ancestro silvestre de esta especie aún no se ha descubierto o se ha extinguido (Duc *et al.*, 2010). Se han encontrado vestigios vegetales de esta especie asociados a la domesticación temprana de cultivos en yacimientos arqueológicos de la Edad de Piedra, Bronce y Hierro en Oriente Próximo y la cuenca mediterránea: en España, Italia, Francia, Suiza y Alemania. El nombre faba tiene su origen en una de las formas del griego que significa "comer" lo que pone de relieve su uso como alimento y forraje por parte de los antiguos griegos y romanos (Muratova, 1931; Hopf, 1973). A pesar de los numerosos estudios realizados, poco se sabe del origen y la domesticación del haba (Maxted *et al.*, 1991). Cubero (1973, 1974) postula el Cercano Oriente como su centro de origen, con cuatro rutas diferentes de distribución, desde este centro: (1) a Europa; (2) a lo largo de la costa norte de África hasta España; (3) a lo largo del Nilo hasta Etiopía; (4) desde Mesopotamia hasta la India, y posteriormente al resto del mundo.

Esta especie fue introducida a México con la llegada de los españoles, hace casi 600 años. Actualmente se cultiva ampliamente en regiones frías y templadas (Flores *et al.*, 2012). Se postula que hubo centros secundarios de diversidad en Afganistán y Etiopía. Sin embargo, Ladizinsky (1975) informó de que el origen estaba en Asia central. Según Muratova (1931) y Maxted (1995), el centro de origen del género *Vicia* es el sureste de Europa y el suroeste de Asia.

2.2 Importancia socioeconómica de haba verde

El haba se utiliza como fuente principal de alimentos ricos en proteínas en los países en desarrollo para los agricultores de subsistencia (Asnakech *et al.*, 2016; Mesfin, 2019) y como alimento de animales en los países industrializados (Duc *et al.*, 2010; Tewodros *et al.*, 2015). También se utiliza ampliamente en rotación con cereales y otros cultivos, ya que fija el nitrógeno atmosférico (Gemechu *et al.*, 2016; Mesfin, 2019). El haba es la sexta leguminosa más producida a nivel mundial, antecedida por el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), garbanzo (*Cicer arietinum*), chícharo (*Pisum sativum* L.), caupí (*Vigna unguiculata*) y lenteja (*Lens culinaris*). Su valor de producción mundial es de 6.14 millones de toneladas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de leguminosas a nivel mundial en toneladas

Cultivo	Toneladas (t)
Frijoles, secos	28,505,529.50
Garbanzos secos	16,517,592.30
Chícharo, secos	13,763,334.10
Caupís, secos	9,784,129.38
Lentejas secas	7,068,620.63
Habas y haba caballar, secas	6,073,526.15
Otras legumbres secas n.c.p.	5,183,944.37

Fuente: FAOSTAT (2023).

Analizando la tendencia del valor de producción en este cultivo desde 1991 y hasta el 2023, ha tenido un aumento en el rendimiento y superficie sembrada

2.3 Países productores

El haba es un cultivo importante en los países de Argelia, China, Egipto, China continental, Túnez, Marruecos, Perú, China en la provincia de Taiwán, México y Siria. México ocupa el lugar nueve en producción de haba en verde a nivel mundial con 68,974.86 toneladas (FAOSTAT, 2023) (Cuadro 2).

Según FAOSTAT (2023) el rendimiento a nivel mundial de haba es de 7.44 t·ha⁻¹, el país con mayor rendimiento es Kazajistán con 23.27 t·ha⁻¹, mientras que México reporta un 6.84 t·ha⁻¹ (Cuadro 3). Esta especie es cultivada en áreas de media a alta altitud, con un rango de elevación de 1800 a 3000 msnm (Mussa and Gemechu, 2006).

Cuadro 2. Producción de haba en toneladas a nivel mundial.

No	País	Toneladas (t)
1	Argelia	312,576.08
2	China	192,112.18
3	Egipto	172,093.41
4	China, Continental	118,166.09
5	Túnez	87,331.06
6	Marruecos	84,307.6
7	Perú	74,577.21
8	China, en la provincia de Taiwán	73,946.09
9	México	68,974.86
10	Restos de países	645,915.07

Fuente: FAOSTAT (2023).

Cuadro 3. Rendimientos de haba en verde por país.

No.	País	t·ha ⁻¹	No.	País	t·ha ⁻¹
1	Kazajstán	23.27	16	China, provincia de Taiwán	9.06
2	China, Continental	20.04	17	Argelia	8.95
3	Túnez	14.60	18	Turquía	8.93
4	Palestina	13.82	19	Uzbekistán	8.86
5	China	13.67	20	Malawi	8.77
6	Libia	13.26	21	Polonia	8.74
7	Chipre	13.06	22	Nueva Zelanda	8.52
8	Chile	12.69	23	Japón	8.23
9	Qatar	11.50	24	Brunei Darussalam	8.03
10	Israel	11.02	25	Etiopía	7.33
11	Jordania	10.81	26	España	7.18
12	Líbano	10.80	27	Tailandia	7.18
13	Egipto	10.12	28	México	6.84
14	Marruecos	10.10			
15	Grecia	9.15		Promedio mundial	7.44

Fuente: FAOSTAT (2023).

Tradicionalmente en Europa su uso es con fines de alimentación humana y para ganado, en países subdesarrollados de África y Asia, representa una fuente barata de proteína y en América solo algunos países la producen como Perú, México, EUA, Bolivia, Colombia, Chile, Guatemala Ecuador (FAOSTAT, 2025). No obstante, por la amplia gama de usos que se le atribuyen actualmente, su potencial industrial ha

aumentado y esto le permite ubicarse como un cultivo alternativo y promisorio para los productores. Sin embargo, en casi todas las latitudes donde se le cultiva se enfrentan serios problemas de ataque de plagas y enfermedades lo que ha limitado considerablemente el rendimiento.

2.4 Producción a nivel nacional

En México la superficie para producir haba en grano seco es mayor que la de haba en verde, sin embargo por los valores de rendimiento obtenidos resulta mayor el valor de producción en verde, lo que la sitúa como de mayor importancia de producción (Cuadro 4).

Cuadro 4. Producción a nivel nacional por tipo de haba.

Tipo de haba	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t·ha ⁻¹)	Valor de producción (miles de pesos)
verde	10,080.50	68,974.86	6.84	421,314.93
seco	16,906.63	28,262.29	1.67	345,438.62

Fuente: SIAP (2023).

El Estado de México es el quinto productor de haba en seco con rendimiento promedio 1.67 t·ha⁻¹ y es el principal productor de haba en verde, con 6.54 t·ha⁻¹, seguido de Puebla, Michoacán, Tlaxcala y Veracruz. El estado que posee el mayor rendimiento es Baja California con 10 t·ha⁻¹(Cuadro 5).

Cuadro 5. Estados que producen haba verde en México.

o.	Entidad	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (t·ha ⁻¹)	Producción (t)
1	México	31,629.09	6.54	4,835.14
2	Puebla	21,227.13	7.63	2,782.90
3	Michoacán	10,346.31	9.54	1,084.00
4	Tlaxcala	3,359.74	3.66	918.00
5	Veracruz	1,307.11	5.87	222.76
6	Ciudad de México	520.46	4.07	128.00
7	Morelos	344.16	6.20	55.50
8	Hidalgo	139.78	3.45	40.50
9	Baja California	50.00	10.00	5.00
10	Durango	28.96	7.83	3.70
11	Sonora	8.18	4.09	2.00
12	Zacatecas	7.64	3.82	2.00
13	Baja California Sur	6.30	6.30	1.00

Fuente: SIAP (2023).

2.5 Producción estatal

Los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) dentro del Estado de México donde se produce haba verde son por orden Coatepec Harinas (10,236.75 t), Toluca (9,858.27 t), Valle de Bravo (6,663.46 t) y Atlacomulco (1,925.81 t), Tejupilco (1,572.98 t) y Texcoco (1,371.82 t). De estos, el mayor rendimiento se registra en el

Distrito de Valle de Bravo, con $8.61 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Respecto a las estadísticas por municipio los principales 5 productores a nivel estatal son Coatepec Harinas, Amanalco, Ocuilan, Texcaltitlán y Temascaltepec. Los de mayor de rendimiento son Calimaya ($10.44 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Lerma ($10.3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Xonacatlan ($10.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), Mexicaltzingo ($10.07 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), entre otros. Para el caso de San Felipe del Progreso su rendimiento es de $9.18 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ y para Temascaltepec de $5.72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (SIAP, 2023).

2.6 Mejoramiento genético en haba

2.6.1 Importancia del mejoramiento

A nivel mundial, hay más de 38,000 accesiones que están incluidas en al menos 37 colecciones catalogadas. La condición de parcialmente alógama de este cultivo hace cara y difícil la actividad de mantenimiento de los genotipos. Aunado a la necesidad de genotipos para apoyar las nuevas estrategias de genética de asociación, es preciso investigar más sobre los polinizadores y el mantenimiento de la diversidad genética dentro de las poblaciones (Duc *et al.*, 2010).

Las colecciones de germoplasma constituyen una fuente útil de material genético para los fitomejoradores. Sin embargo, hasta que una colección no ha sido evaluada y se conocen sus características, no puede ser utilizada por los mejoradores. Ya se ha identificado una gran variabilidad genética en *V. faba* en lo que respecta a la biología floral, el tamaño y la composición de las semillas, y también a la tolerancia al estrés biótico y abiótico. El mejoramiento genético en haba depende de la naturaleza y magnitud de la variabilidad genética disponible (Arab *et al.*, 2018).

Adicionalmente, la biología molecular, ofrece nuevas posibilidades para el análisis de la diversidad de secuencias de genes de *V. faba*, lo que permite evaluar su impacto en los rasgos fenotípicos. Los proyectos combinados de genotipado, fenotipado deben continuar para que puedan definirse colecciones básicas que ayuden a descubrir genes y alelos de características fenotípicas de interés para los mejoradores. El análisis de la diversidad en este cultivo únicamente está empezando (Annicchiarico y Iannicci, 2008; Adhikari *et al.*, 2021).

En la región del Centro de México los productores han seleccionado su propia semilla ciclo tras ciclo, esta actividad se ha replicado durante generaciones, lo que ha sido un proceso de fijación de genes que representa una fuente importante de material genético, que puede tener potencial para ser incorporada en programas de fitomejoramiento (Pérez *et al.*, 2014).

La selección para la producción de semillas sólo puede ser eficaz si la variabilidad genética deseada está presente en el stock genético (Abo-Hegazy, 2022). En los programas de selección de plantas, la selección directa para la producción de semillas como tal podría ser engañosa, el éxito de la selección depende de la información sobre la variabilidad genética y la asociación de los caracteres morfo-agronómicos con la producción de semillas; el conocimiento de la asociación entre el rendimiento y sus componentes servirá para realizar la selección simultánea de más caracteres (Abo-Hegazy, 2022).

La importancia del mantenimiento de estos recursos está en la medición y caracterización de dicha diversidad o variabilidad genética (Alghamdi *et al.*, 2012).

La identificación de los rasgos directamente relacionados con la tolerancia al estrés abiótico y los mecanismos apropiados de fenotipado de estos rasgos ayudarán

enormemente a los mejoradores a desarrollar mejores variedades adaptadas a las diferentes regiones agroclimáticas (Alharbi and Adhikari, 2020).

Yüce *et al.* (2023) reportan un experimento realizado en la provincia turca de Sivas utilizando 330 genotipos de haba y tres cultivares registrados como material vegetal, registrando ocho caracteres agronómicos, observado diferencias significativas para todos excepto para número de días a germinación.

Álvarez *et al.* (2023) realizaron un estudio en Nariño, Colombia evaluando 73 accesiones, con 19 descriptores cuantitativos donde el análisis de clasificación confirmó la existencia de variabilidad fenotípica y permitió diferenciar tres grupos.

2.6.2 Sistema de reproducción de la especie

La floración es la fase fenológica más importante del ciclo de vida de las plantas (Ajam Norouzi y Vazin, 2011) y marca la transición de una fase vegetativa (o juvenil) a una fase reproductiva. La floración se ve afectada por la vernalización, el fotoperiodo y las temperaturas elevadas (Ellis *et al.*, 1988; McDonald *et al.*, 1994; Catt *et al.*, 2017).

El desarrollo de las flores y la consiguiente producción de semillas son los principales procesos en la formación del rendimiento en las leguminosas de grano (Andrés y Coupland, 2012). Catt y Paull (2017) observaron que la flor más temprana aparecía en el quinto nudo, mientras que Soper (1952) observó que las vainas suelen comenzar en los nudos séptimo y octavo.

Las flores del haba surgen en racimos cortos en las axilas de las hojas, suele haber de 1 a 8 flores por racimo y se desarrollan sucesivamente con la flor más joven en

el ápice. Cada flor mide unos 30 mm de largo y tiene la clásica forma de flor de guisante. Cuando está completamente abierta, la flor tiene un pétalo estándar erguido y un par de pétalos alares que cubren un par de pétalos de quilla. Los pétalos suelen ser blancos, con una gran mancha negra violácea en cada pétalo del ala. El cáliz tiene forma de campana y está bordeado por cinco dientes triangulares. Las flores suelen estar perfumadas, lo que atrae a las abejas. Contiene 10 estambres, de los cuales nueve están fusionados en una vaina estaminal que rodea el ovario y el superior está libre. El estilo se proyecta hacia arriba en ángulo recto desde el extremo del ovario. Cuando un insecto pesado, como una abeja, se posa en la parte delantera de la flor, los pétalos del ala y de la quilla son forzados hacia abajo y el estilo empuja un tapón de polen contra la parte inferior del insecto, depositando simultáneamente polen y recogiendo polen del visitante mientras empuja hacia el interior de la flor. Se dice entonces que la flor ha “tropezado”. Una vez que los pétalos de la quilla han sido separados de esta forma, la flor no puede volver a ser “tropezada” (Kirk, 2004).

Las habas producen entre 50 y 80 flores por planta (Free, 1993), lo que en el momento de máxima floración equivale a 13,5 millones de flores ha⁻¹ (Macfarlane *et al.*, 1995). Soper (1952) informó de que cada nudo incluye al menos cinco flores, pero tres o más de ellas caen antes de convertirse en vainas. El breve período posterior a la floración (1-3 semanas) es el más importante para la formación del rendimiento (Fakir, 1997; Biswas *et al.*, 2005; Mondal, 2007), ya que >70% de las vainas totales cuajan durante este período en la haba (Clifford *et al.*, 1990), la soja (*Glycine max* L.) (Nahar e Ikeda, 2002; Islam *et al.*, 2010) y el guandú (*Cajanus cajan* L.) (Fakir, 1997).

La haba es una especie parcialmente alogama, con una tasa de entrecruzamiento del 4-84% en función de la disposición de la plantación, el genotipo y el tipo de polinizadores (Bond y Poulsen, 1983). En consecuencia, los polinizadores desempeñan un papel activo en la maximización del rendimiento (Kyllönen, 2018). Los polinizadores más frecuentes suelen ser abejorros de lengua larga (por ejemplo, *Bombus hortorum*, *Bombus pascuorum*, *Bombus ruderatus* y *Bombus subterraneus*), ya que sus lenguas son lo bastante largas para alcanzar el néctar de la base de la corola y sus cuerpos lo bastante grandes para hacer tropezar las flores y provocar la polinización cruzada, algunas especies de abejas solitarias (por ejemplo, *Anthophora plumipes*) también pueden alcanzar el néctar y polinizar. Las abejas de la miel y los abejorros logran alcanzar el néctar mordiendo la base de la flor con sus mandíbulas (Kirk, 2004). Varios estudios afirman que las abejas son los principales polinizadores de la especie (Stoddard y Bond, 1987; Kyllönen, 2018).

2.6.3. Descriptores varietales de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV)

La Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) es una organización intergubernamental con sede en Ginebra (Suiza).

La UPOV fue creada por el Convenio Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales. El Convenio fue adoptado en París en 1961, y fue revisado en 1972, 1978 y 1991. La misión de la UPOV es proporcionar y fomentar un sistema eficaz para la protección de las variedades vegetales, con miras al desarrollo de nuevas variedades vegetales para beneficio de la sociedad. Para ello proporciona

directrices de examen, en el caso de haba el alcance de las directrices usadas es para se aplican a todas las variedades de *Vicia faba* L. var. major Harz. Esta guía considera 34 descriptores varietales que consideran características fenotípicas de semilla, planta, tallo, follaje, foliolo, racimo floral, época de floración, flor, quilla, estandarte, racimo de vainas, grano seco y época de desarrollo de la vaina (UPOV, 2007).

2.6.4. Descriptores varietales del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS)

En México quien realiza los trabajos de identificación y diferenciación de variedades es el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). El SNICS es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, encargado de normar y vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales en materia de semillas y variedades vegetales. Son 3 sus actividades principales: 1) verificar y certificar el origen y la calidad de las semillas, 2) proteger legalmente los derechos de quien obtiene nuevas variedades de plantas, a través de un derecho de obtentor y 3) coordinar acciones en materia de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (SNICS, 2001).

2.6.5 Importancia de la variabilidad genética en el mejoramiento

La variabilidad genética de esta especie es amplia y se han catalogado cuatro variedades botánicas; *V. faba paucijuga*, *V. faba mayor*, *V. faba equina* y *V. faba minor*, esta clasificación se basa en diferencias de semilla, tales como peso, forma y tamaño (Bond *et al.*, 1985). De acuerdo con Cubero (1974) en México se han

identificado la presencia de dos de estos grupos botánicos los cuales son *mayor* y *minor*. Díaz *et al.* (2006), comentan que hasta el momento solo se han identificado dos grupos botánicos, mayor y menor y que se han diferenciado por los diferentes colores de la semilla en seco como son amarilla, blanca o cimarrona, moteada o parraleña y roja o morada. Lo anterior implica que las poblaciones nativas o criollas son una mezcla de estos dos grupos botánicos que poseen genes diferentes y que se adaptan a las condiciones ambientales donde crecen, motivo por el cual los estudios de caracterización morfológica cobran importancia.

La distribución geográfica y los objetivos de los programas de mejoramiento desarrollados para las especies leguminosas reflejan claramente su importancia y cual es de mayor consumo, por ejemplo, en relación al tamaño del mercado y en comparación con la soya, los programas de selección de habas son pocos y pequeños, dependen en parte de los bancos de genes para proporcionar progenitores y alelos de interés, el papel de las colecciones *ex situ* es aún más importante para este cultivo debido a la ausencia de un reservorio natural de accesiones silvestres y a la modernización de la agricultura, que elimina progresivamente numerosas variedades locales (Adhikari *et al.*, 2021; Duc *et al.*, 2010). Para ello se utilizan descriptores o características cuya expresión sea fácil de medir, registrar o evaluar, y hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de las especies. Los descriptores son aplicados en la caracterización y evaluación de accesiones debido a que ayudan a su diferenciación (SNICS, 2021; Franco e Hidalgo, 2003).

Por lo tanto, los estudios de variabilidad genética aplicados a colectas locales o accesiones de los bancos de germoplasma constituyen una fuente para combatir la

erosión genética y son herramienta que ayuda a seleccionar individuos con características potenciales para mejora en rendimiento y/o tolerancia o resistencia a factores bióticos o abióticos. Dado que el rendimiento de grano es un rasgo complejo y muy influido por muchos factores genéticos y fluctuaciones medioambientales, la selección directa para el rendimiento *per se* no es muy eficaz (Lawes *et al.*, 1983). En un programa de mejora vegetal, una selección eficaz depende de las pruebas sobre la variabilidad genética y la asociación de los rasgos relacionados con el rendimiento con la producción de grano. La identificación de rasgos secundarios, que están positivamente asociados con el rendimiento de grano y poseen alta variabilidad genética y alta heredabilidad, ayuda a formular índices de selección de rasgos múltiples eficientes, ya que proporciona medios de efectos directos e indirectos de los caracteres componentes (Lawes *et al.*, 1983).

Se han utilizado con éxito técnicas morfológicas como el análisis de conglomerados, el análisis de componentes principales y el coeficiente de correlación para clasificar y medir el patrón de caracterización genética (Sultana y Ghafoor, 2006).

Yüce *et al.* (2023) indican que su análisis de correlación mostró que la altura de planta, el peso del grano y el número de vainas y semillas por planta están correlacionados positivamente entre sí.

2.7 Heredabilidad en sentido amplio

Las estimaciones de heredabilidad suelen calcularse mediante un método estadístico conocido como análisis de la varianza (ANOVA).

La heredabilidad se usa para definir el grado de parecido entre los individuos o familias basado en una característica en particular y además para analizar las

causas genéticas y ambientales de ese parecido (Jacquard, 1983), o para predecir el avance genético que se espera alcanzar al seleccionar progenitores en una o más poblaciones (Reyes, 1985).

La heredabilidad, como fue definida por Lush (1948) y se divide en dos tipos:

- Heredabilidad en sentido amplio (H^2), también conocida como el grado de determinación genética, que es la proporción de la varianza genética total (σ_g^2) con relación a la varianza fenotípica (σ_f^2) y se expresa en porcentaje, con la fórmula $H^2 = (\sigma_g^2 / \sigma_f^2) \times 100$ (Falconer, 1986) y

- Heredabilidad en sentido estricto (h^2) se define como la proporción de la varianza genética aditiva sobre la fenotípica, expresada en porcentaje ($h^2 = \sigma_A^2 / \sigma_f^2$) $\times 100$ (Nyquist, 1991). La varianza genética aditiva es simplemente la proporción de varianza fenotípica que se debe a los efectos aditivos de los genes. Las otras fuentes de varianza genética son la varianza de dominancia, la varianza epistática y la varianza sobredominancia (Egeland, 2023).

A partir del análisis de varianza, es posible obtener estimaciones de heredabilidad en sentido amplio, a partir de las esperanzas matemáticas de los cuadrados medios, según las fórmulas siguientes:

Para análisis individual

$$E(CM_v) = \sigma_e^2 + r \sigma_g^2, \text{ considerando esta similitud: } E(CM_e) = \sigma_e^2$$

Donde: $E(CM_v)$ es la esperanza matemática del cuadrado medio de variedades, $E(CM_e)$ es la esperanza matemática del cuadrado medio del error, σ_e^2 es la varianza del error, r es el número de repeticiones y σ_g^2 es la varianza genética.

Para calcular la varianza genética, usamos la fórmula del estimador:

$$\sigma_g^2 = (CM_v - CM_e)/r.$$

Donde: σ_e^2 es el estimador de la varianza genética, CM_v es el cuadrado medio de variedades, CM_e es el cuadrado medio del error y r es el número de repeticiones.

Después calculamos el estimador de la varianza fenotípica:

$$\sigma_f^2 = \sigma_g^2 + (\sigma_e^2/r)$$

Donde: σ_f^2 es el estimador de la varianza fenotípica, σ_g^2 es la varianza genética, σ_e^2 es la varianza del error y r es el número de repeticiones.

Con los datos de las varianzas calculamos la heredabilidad en sentido amplio, con base en la fórmula:

$$H^2 = (\sigma_g^2 / \sigma_f^2) \times 100$$

Donde: σ_g^2 es la varianza genética y σ_f^2 es la varianza fenotípica.

Para análisis combinado

$$\sigma_v^2 = (MS_4 - MS_2) / re$$

Donde: σ_v^2 es la varianza entre variedades, MS_4 y MS_2 son el cuadrado medio de variedades y de la interacción variedades por años, respectivamente, r es el número de repeticiones y e es el número de ambientes.

Para calcular la variabilidad de interacción, usamos:

$$\sigma_{LV}^2 = (MS_2 - MS_1) / r$$

Donde: σ_{LV}^2 es la varianza de la interacción de variedades por años, MS_2 y MS_1 son el cuadrado medio de la interacción variedades por años y del error combinado, respectivamente y r es el número de repeticiones.

La heredabilidad en sentido amplio para la interacción se calculó con:

$$H^2 = \sigma_v^2 / [\sigma_v^2 + (\sigma_{LV}^2/e) + (\sigma_e^2/re)]$$

Los análisis de heredabilidad, coeficientes de correlación y coeficiente de Sendero son herramientas esenciales en los experimentos de selección. Se utilizan para determinar las relaciones directas e indirectas entre el rendimiento y determinados caracteres de la planta (Abo-Hegazy, 2022). La estimación de la heredabilidad junto con el cálculo del avance genético también se consideraron como parámetros de selección importantes, pues con ellos es más útil predecir la ganancia de selección, (Neda *et al.*, 2021). Los valores estimados de heredabilidad en sentido amplio se situaron entre el 57,97% para el peso de 100 semillas y el 1,87% para el número de vainas por planta. La alta heredabilidad indicó que la selección basada en la media tendría éxito en la mejora de estos caracteres (Hamza *et al.*, 2017).

Para desarrollar genotipos de élite, es importante conocer las interrelaciones entre el rendimiento y los rasgos que lo componen, así como la contribución directa e indirecta al rendimiento. Antes de iniciar cualquier programa de mejora, es esencial

obtener información sobre la interrelación entre los diversos rasgos atribuidos al rendimiento y la producción de semillas (Abo-Hegazy, 2022).

El rendimiento en semilla es un rasgo complejo y está altamente influenciado por muchos factores genéticos y fluctuaciones medioambientales que se heredan cuantitativamente con bajos valores de heredabilidad (Chaudhary *et al*, 2020; Ahmad, 2016). La baja heredabilidad y el limitado avance genético para el rendimiento en respuesta a la selección han llevado a muchos científicos a buscar caracteres que estén asociados al rendimiento pero que sean más altamente heredables (Alan and Geren, 2007; Muluaem *et al.*, 2013).

Los rasgos con heredabilidad (H^2) responden de forma moderada a alta a la selección fenotípica (Singh y Ceccarelli, 1996). Singh (1990) informó de que la eficiencia de la selección de rasgos con alta heredabilidad (80% o más) era bastante fácil en comparación con aquellos con baja heredabilidad (menos del 40%). Por lo tanto, cuantificar y determinar la asociación del rendimiento de grano con rasgos importantes que contribuyen al rendimiento mediante el análisis de correlación y coeficiente de Sendero es de suma importancia, ya que proporciona una mejor comprensión de la asociación de diferentes caracteres con el rendimiento de grano (Negahi *et al.* 2014).

Raiger *et al.* (2021) observaron una correlación altamente positiva y significativa del rendimiento en semilla con la altura de la planta (0,4229), el número de vainas por planta (0,5239), el número de vainas por racimo (0,1715), la longitud de la vaina (0,2769), la anchura de la hoja (0,2158), el peso de 100 semillas (0,5058) y el rendimiento en semilla/planta (0,6586). Por lo tanto, la selección de alto valor para estos caracteres aumentará en última instancia el rendimiento de semillas. Los días

hasta la floración, los días hasta la madurez, el número de ramas, el número de granos por vaina y la longitud de la hoja tienen una asociación no significativa con la producción de semillas.

2.8 Ganancia genética

El conocimiento de los componentes de la varianza son: la varianza fenotípica (σ_f^2) y la varianza genotípica (σ_g^2) ayudan a determinar el tipo de estrategia de mejoramiento que debe considerarse (Tadele *et al.*, 2021).

La magnitud de la heredabilidad en sentido amplio (H^2) también ayuda a predecir el comportamiento de las generaciones siguientes mediante la elaboración de criterios de selección adecuados y el progreso genético en el programa de mejoramiento indicado por la ganancia genética esperada de la selección del 5% de los genotipos superiores, como un porcentaje de la gran media (GAM) (Allard, 1960).

El valor del componente de varianza genética significativo indica la menor influencia de los factores ambientales en la expresión de los rasgos y la mayor posibilidad de mejorar los rasgos a través del mejoramiento por selección (Ejigu *et al.*, 2016).

La consideración conjunta de la GAM y la H^2 de los rasgos ayuda a determinar cuánto progreso puede lograrse mediante la selección. La selección basada en el rendimiento fenotípico de los genotipos será eficaz para mejorar los rasgos que tienen una GAM mayor junto con una H^2 mayor al 50 % (Johnson *et al.*, 1955).

Hamza *et al.* (2017) reportaron ganancias entre el 0.65% para la altura de la planta y el 8.45% para peso de 100 semillas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características geográficas del área de estudio

El presente trabajo se desarrolló en dos localidades del Estado de México. La primera de ellas bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano del 2022 en la localidad de San Nicolas Guadalupe (SNG), municipio de San Felipe del Progreso. La segunda se estableció bajo condición de riego en ciclo otoño-invierno de 2022 en la localidad San Francisco Oxtotilpan (SFO), municipio de Temascaltepec de González.



Figura 1. Ubicación de los municipios San Felipe del Progreso y Temascaltepec, Estado de México.

3.1.1 San Nicolás Guadalupe

Es una localidad perteneciente al municipio de San Felipe del Progreso, Estado de México, se encuentra localizada a 2770 msnm, en las coordenadas 19°36'30''N y 100°01'44''O, con una temperatura media anual de 15 °C y una precipitación anual de 891.8 mm. El suelo de esta región es tipo andosol, franco arenoso, con pH de 5.58, su clima predominante es Cw, es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano (CONAGUA, 2014).

3.1.2 San Francisco Oxtotilpan

Se ubica dentro del municipio de Temascaltepec a 2670 msnm, a los 19°17'365''N y 99° 89'956''O, su temperatura media y precipitación anual son de 12 °C y 1200 mm, respectivamente, su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), su suelo es tipo andosol, arcillo arenoso con pH de 5.5 (CONAGUA, 2014).

3.2 Material genético

La colecta utilizada en el presente trabajo se conformó de 25 cultivares, los cuales se obtuvieron al seleccionar productores sobresalientes de 11 municipios del Estado de México (Cuadro 6; Figura 2).

Cuadro 6. Listado de cultivares con clave de tratamiento y datos de sitio de colecta.

Municipio	Colectas
Zinacantepec	T1, T2
Ixtlahuaca	T3, T4
Toluca	T5, T6
Texcaltitlán	T7, T8, T21
Calimaya	T9,T10,T11,T12, T13, T14
S. Tianguistenco	T15, T25
Jocotitlán	T16
San Jose del Rincon	T17
San Felipe del Progreso	T18
Xalatlaco	T19
Metepec	T20
Otzolotepec	T22, T23, T24



Figura 2. Muestrario de cultivares colectados

3.3 Diseño y tamaño de la parcela experimental

La aleatorización de los cultivares se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela experimental (Figura 3) fue de 4 surcos de 4 m de largo y una distancia entre surcos de 0.80 m y como parcela útil se consideró al surco central (3.20 m^2). Con base en ello, se obtuvo un total de 100 parcelas experimentales, distribuidas en el terreno según las dimensiones de éste, como muestra se ilustra el croquis de ubicación del experimento en la localidad de San Nicolás Guadalupe, municipio de San Felipe del Progreso (Figura 4).

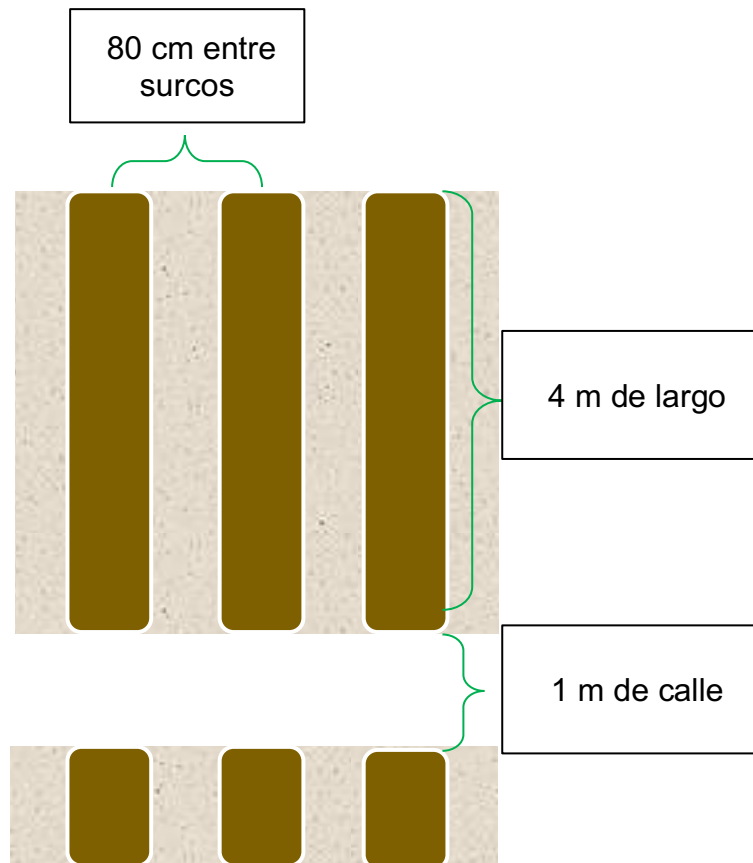


Figura 3. Diseño de la parcela experimental.



BORDO HABA											
Calle											
R4 P100T7	BORDO HABA										
Calle											
R4 P99T8	R4 P98T6	R4 P97T18	R4 P96T16	R4 P95T23	R4 P94T15	R4 P93T22	R4 P92T12	R4 P91T3	R4 P90T24	R4 P89T20	
Calle											
R4 P78T14	R4 P79T11	R4 P80T13	R4 P81T21	R4 P82T19	R4 P83T4	R4 P84T1	R4 P85T5	R4 P86T2	R4 P87T25	R4 P88T10	
Calle											
R4 P77T9	R4 P76T17	R3 P75T25	R3 P74T12	R3 P73T24	R3 P72T14	R3 P71T23	R3 P70T5	R3 P69T3	R3 P68T15	R3 P67T11	
Calle											
R3 P56T20	R3 P57T7	R3 P58T2	R3 P59T13	R3 P60T18	R3 P61T19	R3 P62T8	R3 P63T9	R3 P64T22	R3 P65T1	R3 P66T10	
Calle											
R3 P55T6	R3 P54T16	R3 P53T21	R3 P52T17	R3 P51T4	R2 P50T24	R2 P49T16	R2 P48T17	R2 P47T8	R2 P46T25	R2 P45T15	
Calle											
R2 P34T14	R2 P35T11	R2 P36T1	R2 P37T21	R2 P38T19	R2 P39T20	R2 P40T9	R2 P41T12	R2 P42T6	R2 P43T10	R2 P44T18	
Calle											
R2 P33T22	R2 P32T3	R2 P31T7	R2 P30T4	R2 P29T2	R2 P28T13	R2 P27T5	R2 P26T23	R1 P25T13	R1 P24T11	R1 P23T3	
Calle											
R1 P12T14	R1 P13T4	R1 P14T19	R1 P15T20	R1 P16T12	R1 P17T2	R1 P18T5	R1 P19T7	R1 P20T18	R1 P21T17	R1 P22T6	
Calle											
R1 P11T16	R1 P10T8	R1 P9T22	R1 P8T23	R1 P7T1	R1 P6T24	R1 P5T21	R1 P4T15	R1 P3T10	R1 P2T25	R1 P1T9	
Calle											
BORDO HABA											

Repetición	Color indicativo
1	Rosa
2	Verde
3	Azul
4	Amarillo

Figura 4. Croquis de localización de parcelas en San Nicolás Guadalupe.

3.4 Manejo agronómico

El manejo agronómico del cultivo se realizó en función al paquete tecnológico empleado por cada productor, a continuación se describe el manejo en cada una de las parcelas experimentales.

San Nicolás Guadalupe, San Felipe del Progreso

- Preparación del suelo. La labranza del suelo consistió en un barbecho, un paso de rastra y el surcado, esta actividad se hizo con tracción animal.
- Fertilización. Esta actividad se realizó en forma manual al momento de la siembra colocando estiércol de vacuno (240 kg).
- Siembra. Esta actividad se realizó el 22 de abril de 2022, en forma manual depositando dos semillas cada 40 cm en surcos de 0.80 m.
- Labores culturales. Se aplicaron dos escardas el 7 de junio y el 7 de julio del 2022.
- Control de malezas. Se realizó de forma manual, aplicando 3 labores de limpieza con azadón.
- Control de plagas y enfermedades. Se realizaron dos aplicaciones de Mancozeb (1.0 kg ha^{-1}).
- Cosecha. Esta actividad se realizó durante el 10 de septiembre de 2022, una vez presentada la madurez fisiológica de las vainas en verde.

San Francisco Oxtotilpan, Temascaltepec

- Preparación del suelo. La labranza del suelo consistió en un barbecho, un paso de rastra y el surcado.
- Siembra Esta actividad se realizó en forma manual depositando dos semillas cada 40 cm en surcos de 0.80 m, realizada el día 16 de diciembre de 2022.
- Fertilización. 60N-60P-30K más estiércol de vacuno (240 kg en L1; 400kg de este más 500 kg de fósforo.
- Labores culturales. Se aplicaron dos escardas en 25 de abril y 21 de marzo de 2023, para disminuir la incidencia de malezas y aporcar a las plantas en el lote experimental.
- Riego. Se aplicaron dos riegos de auxilio en las fechas 6 de marzo y 20 de abril del 2022.
- Control de malezas. metribuzin 1.0 L ha¹ el 29 de diciembre del 2022.
- Control de plagas y enfermedades. Para disminuir la incidencia de enfermedades se realizaron dos aplicaciones una con Cercobin (Tiofanato metílico) a dosis de 500 g en 200 litros de agua y la otra con Carbendazim 250 g en 200 litros de agua. Para el control de insectos se aplicaron una ocasión Cipermetrina a dosis de 500 ml en 200 litros de agua y Metamidofos a 500 ml en 200 litros de agua.
- Cosecha. Esta actividad se realizó de forma manual, el día 20 de mayo de 2023, una vez presentada la madurez fisiologica de las vainas en verde.

3.5 Variables de estudios

En el presente estudio se analizaron se consideraron 27 variables agronómicas y morfológicas de las cuales 17 fueron cuantitativas y 10 cualitativas; todas ellas seleccionadas de los descriptores varietales para haba del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

3.5.1 Cuantitativas

Estas variables resultan del promedio obtenido al muestrear 10 plantas, obtenidas de la parcela experimental útil (surco central).

- ⇒ **Altura de planta (AP)**. Se midió de la base de planta al ápice del tallo principal y se expresó en m.
- ⇒ **Altura a la primera vaina (APV)**. Se midió de la base a la primera vaina de la planta y se expresó en cm.
- ⇒ **Número de ramas productivas (NRP)**. Se contabilizó el número de ramas productivas, esto es, con vainas por planta y se registró su promedio aritmético.
- ⇒ **Número de Ramas Totales (NRT)**. Se cuenta el número de ramas totales, es decir, con vainas y sin vainas, y se obtiene su promedio aritmético.
- ⇒ **Eficiencia (EFI)**. Es el cociente de dividir el número de ramas productivas (NRP) entre el número de ramas totales (NRT).
- ⇒ **Número de folíolos por hoja (NFH)**. Consiste en el conteo del número de folíolos por hoja compuesta, en estratos bajo medio y alto y se obtuvo un promedio de estos valores.

- ⇒ **Número de vainas por planta (NVP).** Se contó el número de vainas en verde por planta al momento de la cosecha (madurez fisiológica).
- ⇒ **Número de semillas por vaina (NSV).** Se cuantificó el total de las semillas por planta.
- ⇒ **Longitud de vaina (LV).** Es la medición del largo de la vaina desde la base del pedúnculo a la base del ápice, expresada en cm.
- ⇒ **Diámetro de vaina (DV).** Es el ancho de la vaina, medido en la parte media del haba de una sutura ventral a la otra, expresado en cm.
- ⇒ **Espesor de vaina (EV).** Es el grosor de la vaina, medido cm.
- ⇒ **Peso de vaina por planta (PP).** Se registró el peso de las vainas de cada planta y se expresó en gramos.
- ⇒ **Rendimiento (REN).** Se calculó el rendimiento considerando los datos de PP a rendimiento por hectárea, expresado en tha^{-1} .
- ⇒ **Longitud de semilla (LON).** Largo de semilla medido con vernier, expresado en cm.
- ⇒ **Diámetro de semilla (DIA).** Ancho de semilla, medido con vernier, expresado en cm.
- ⇒ **Espesor de semilla (ESP).** Grosor de la semilla, medido con vernier, expresado en cm.
- ⇒ **Peso de 100 semillas (P100).** Se contabilizaron 100 semillas por cultivar y se pesaron, esto en 10 repeticiones y se promedió, expresado en gr.

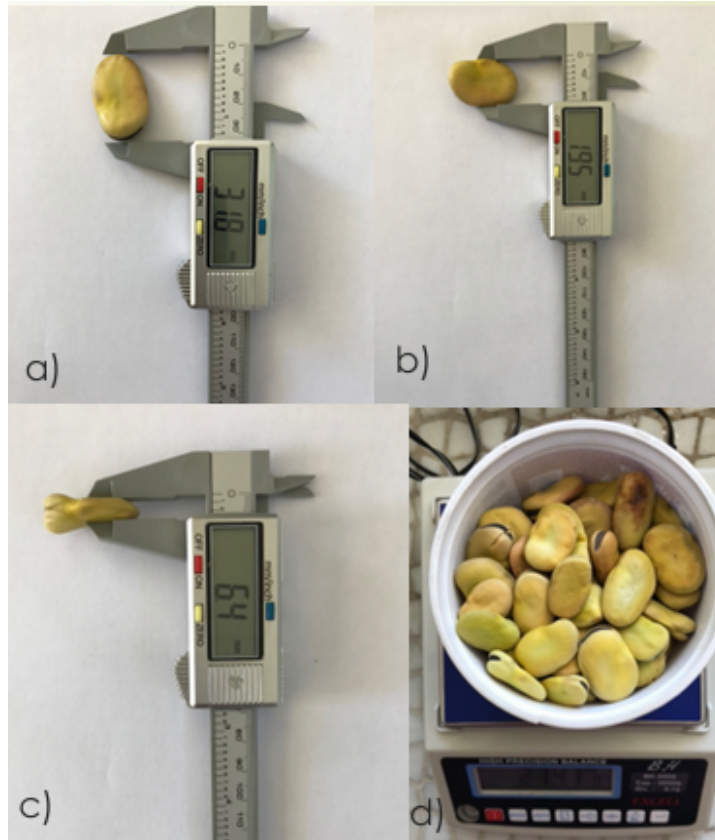


Figura 5. Medición de longitud, diámetro, espesor y peso de 100 semillas.

3.5.2 Cualitativas

Estas variables resultan del promedio obtenido al muestrear 5 plantas, obtenidas de la parcela experimental útil (surco central).

- ⇒ **Hábito de crecimiento (HC).** Se clasifica en determinado e indeterminado.
- ⇒ **Porte de la planta (PP).** Baja, media, alta.
- ⇒ **Coloración de antocianinas en tallo (CAT).** Presente, ausente.
- ⇒ **IV: Intensidad del color verde en follaje.** claro, medio, oscuro.
- ⇒ **Mancha de melanina en el estandarte (MME).** presente, ausente.
- ⇒ **PAE: Pigmentación de antocianina en el estandarte.** presente, ausente.

- ⇒ **Extensión de la pigmentación antociánica en el estandarte (EPA).** pequeña, media, grande.
- ⇒ **Color de la mancha de melanina en las alas (CME).** amarillo verdoso, marrón, negro.
- ⇒ **Porte de la vaina (PV).** erecto, semierecto, horizontal, semicolgante, colgante.
- ⇒ **Época de desarrollo completo de la vaina (EDV),** primeras vainas completamente desarrolladas: Temprana, media y tardía.

3.6 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se hizo con los siguientes paquetes: con InfoStat versión 2017 se generó el análisis de varianza individual y combinado, así como la comparación de medias aplicando la Diferencia Mínima Significativa Honesta (DMSH) de Tukey ($p= 0.01$); el biplot entre los componentes principales 1 y 2 se generó en el Sistema para el Análisis Estadístico (SAS versión 9.01) y después se editó en Microsoft Excel 2019; con META-R 5.0 de CIMMYT se generaron los componentes de varianza y la heredabilidad.

Variabilidad genética y heredabilidad en habas del centro mexicano

María Teresa Oliveros González¹, Delfina de Jesús Pérez López^{2§}, Andrés González Huerta², José Francisco Ramírez Dávila², Laura Stephanie Flores Carrera²

¹ Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx.). Facultad de Ciencias Agrícolas (FCAgr.), Campus Universitario "El Cerrillo," Toluca de Lerdo, Estado de México, México. Tel: (722) 296 5552 ext.117 (pcarn@uaemex.mx) (moliverosg001@alumno.uaemex.mx).

² Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. UAEMéx. FCAgr. Apdo. Postal 435. Tel: (722) 296 5518 ext.148. (agonzalezh@uaemex.mx; framirez@uaemex.mx; lphaniefc@hotmail.com).

§ Autor de correspondencia: djperezl@uaemex.mx

Resumen

Este trabajo se realizó para estimar componentes de varianza y heredabilidades (H^2) en 25 cultivares de haba usando un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en serie de ensayos. Las diferencias entre los dos ambientes (A), los 25 genotipos (G) y su interacción fueron significativas para la mayoría de los caracteres evaluados. Las mayores H^2 variaron de 51.73 a 96.68 %. El Análisis de Componentes Principales explicó 63.62% de la variación total original; el rendimiento se correlacionó positiva y significativamente con EFI, NVP, DV, LV, PVP y REND. La predicción con la GAM indicó que con NVP, DV, PVP y REND se tendría mayor avance genético por selección. Dentro de cada uno de los caracteres cualitativos hubo poca variabilidad fenotípica.

Palabras clave: *Vicia faba* L., Análisis de Componentes Principales, producción en verde.

Abstract

The present study was conducted with the objective of estimating variance components and heritabilities (H^2) in 25 broad bean cultivars. A randomized

complete block experimental design with four replications was employed in a series of trials. The results indicated that differences between the two environments (A), the 25 genotypes (G), and their interaction were significant for the majority of the traits evaluated. The largest H^2 ranged from 51.73 to 96.68%. The Principal Component Analysis accounted for 63.62% of the total variation, with yield exhibiting a positive and significant correlation with EFI, NVP, DV, LV, PVP, and REND. The GAM predicted that NVP, DV, PVP, and REND would undergo greater genetic advancement through selection. Within each qualitative trait, minimal phenotypic variability was observed.

Keywords: *Vicia faba* L., Principal Component Analysis, green yield.

Introducción

El haba (*Vicia faba* L.) es cultivada en 64 países y su grano se consume en fresco y en seco. Por su alto valor proteico (23 a 43 %) es de gran importancia para la población de escasos recursos (Pérez *et al.*, 2019; FAOSTAT, 2022). Ésta es una especie diploide ($2n=12$) parcialmente alogáma con entrecruzamiento de 4 a 60 % (Suso y Maalouf., 2010) lo que ha generado amplia variabilidad genética pero también ha dificultado el mantenimiento de diversas colectas (Duc *et al.*, 2010; Tadele *et al.*, 2022). El estudio de la variabilidad genética con base en caracteres agromorfológicos conduce a identificar variedades con mayor rendimiento y/o resistencia al estrés biótico y abiótico (Arab *et al.*, 2018; Tadele *et al.*, 2021).

El rendimiento está influenciado por factores genéticos, ambientales y por interacciones entre éstos (Annicchiarico y Iannicci, 2008) y presenta heredabilidad baja (Chaudhary *et al.*, 2020). Así, se busca identificar componentes del

rendimiento con altas heredabilidades, como vainas por planta (79.84%), semillas por planta (77.88%), peso de semilla por planta (87.61 %) (Abo-Hegazy, 2022; Amjad y Alghamdi, 2023), y longitud de vaina (84.32%) (Kosev y Georgieva, 2023), para mejorar su respuesta a la selección.

En México existen pocos trabajos sobre este tema. Pérez *et al.* (2015) y Bagink *et al.* (2013) consideraron relevantes el tamaño, sanidad y color de semilla, características que los agricultores de los Valles Altos de México usan para su mejoramiento genético (Rojas *et al.*, 2012). El Estado de México es el principal productor en haba verde y en el Municipio de Calimaya de Díaz González se producen 12.0 t h⁻¹ (SIAP, 2022). El objetivo del presente trabajo fue estimar variabilidad genética y heredabilidad en sentido amplio en caracteres cuantitativos de habas colectas en el centro del estado de México, México.

Materiales y Métodos

Características del sitio experimental

Este estudio se realizó en 2022 y 2023 durante los ciclos agrícolas primavera verano y otoño invierno en San Nicolás Guadalupe (SNG; L1) y en San Francisco Oxtotilpan (SFO;L2), pertenecientes a los municipios de San Felipe del Progreso y Temascaltepec, respectivamente. SNG se ubica a 19 ° 36' 30" de LN y 100° 01' 44" de LW, a una altitud de 2740 m., su temperatura media anual es de 15°C y su precipitación media anual es de 891.8 mm, el tipo de suelo predominante es andosol y en este sitio no existe infraestructura para riego. SFO se localiza a 19 °17' 365" de LN y 99° 89' 956" de LW, a una altitud de 2648 m., su temperatura media

anual es de 12°C y su precipitación media anual es de 1200 mm, el tipo de suelo que predomina es andosol y en este sitio se puede aplicar riego (CONAGUA, 2014).

Material genético

Se consideraron 25 colectas provenientes de los municipios mexiquenses: Zinacantepec, Ixtlahuaca, Toluca, Texcaltitlán, Calimaya, Santiago Tianguistenco, Jocotitlán, San José del Rincón, San Felipe del Progreso, Xalatlaco y Oztolotepec (Cuadro 1).

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Se utilizó un bloques completos al azar con cuatro repeticiones por localidad en serie de experimentos. La parcela constó de tres surcos de 4.0 x 0.80 m pero el surco central fue la parcela útil.

Manejo agronómico de los experimentos

En SNG (L1) la preparación del terreno se realizó mecánicamente pero en SFO (L2) esta actividad se hizo con tracción animal. La siembra se efectuó el 22 de abril (L1) y el 16 de diciembre de 2022 (L2). En SFO se aplicaron dos riegos (6 de marzo y 20 de abril de 2023); se aplicaron 60N-60P-30K más estiércol de vacuno (240 kg en L1; 400kg de éste más 500 kg de fósforo en L2). En L1 las escardas se realizaron el 7 de junio y el 7 de julio del 2022, y en L2 éstas se efectuaron el 25 de abril y el 21 de marzo de 2023.

El control de maleza fue manual en SNG pero en SFO se aplicó metribuzin 1.0 L ha¹ el 29 de diciembre del 2022. El control fitosanitario preventivo en ambas localidades se hizo aplicando Mancozeb (1.0 kg ha⁻¹). La cosecha en SNG se realizó el 10 de septiembre del 2022 y en SFO fue el 20 de mayo del 2023.

Cuadro 1. Colectas de haba evaluadas en 2022 y 2023

Colecta	Productor	Población	Municipio	Altitud
T1	Miguel Fernández Mayo	S. J. de las Huertas	Zinacantepec	2884.81
T2	Francisco Guadarrama Iturbide	S. J. de las Huertas	Zinacantepec	2884.81
T3	Daniela Morales	Santa Ana	Ixtlahuaca	2669.35
T4	Hilario ----	Emiliano Zapata	Ixtlahuaca	2538.14
T5	Lupita Quinto Juárez	Santiago Tlacotepec	Toluca	2828.80
T6	Raquel Hernández Chávez	Capultitlán	Toluca	2725.41
T7	Armando Carbajal Romero	Texcaltitlán	Texcaltitlán	2414.14
T8	Berta Rodríguez Sánchez	Texcaltitlán	Texcaltitlán	2414.14
T9	Santiago Bobadilla	Sn. Marcos de la Cruz	Calimaya	2697.64
T10	Guillermo Salazar Ávila	Zaragoza	Calimaya	2689.70
T11	Juan Velázquez Jiménez	Zaragoza	Calimaya	2689.70
T12	Socorro Buena Estrada	Santa María Nativitas	Calimaya	2702.90
T13	Jonathan Bobadilla	S. Marcos de la Cruz	Calimaya	2889.68
T14	Gustavo Mendoza	Calimaya	Calimaya	2697.90
T15	Guadalupe Costilla Muñoz	San Pedro Tlaltizapán	S. Tianguistenco	2574.17
T16	María Concepción González	La Providencia	Jocotitlán	2705.96
T17	Jarner de Jesús de Jesús	San Felipe de Jesús	San José del Rincón	2761.36
T18	Máximo Marín	San Francisco	San Felipe del Progreso	2572.80
T19	Guillermo Guadarrama S.	Xalatlaco	Xalatlaco	2774.22
T20	ICAMEX	Metepec	Metepec	2670.85
T21	Sra. Carbajal	Texcaltitlán	Texcaltitlán	2414.14
T22	Mauro Jerónimo	Sn Mateo Capulhuac	Otzolotepec	2780.64
T23	Felipe López	Villa Cuauhtémoc	Otzolotepec	2574.02
T24	Rosa Tomas	Sn Mateo Capulhuac	Otzolotepec	2780.64
T25	Yamir Sousa Hernández	San Bartolo Apóstol	Santiago Tianguistenco	2631.35

VARIABLES EVALUADAS

Se eligieron 10 plantas en cada parcela útil y se registraron datos en 13 caracteres cuantitativos y 10 cualitativos aplicando la Guía Técnica de la Descripción Varietal para haba del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2001), en altura de planta (AP, cm), altura a primera vaina (APV, cm), ramas totales (NRT), ramas con vaina (NRP), eficiencia (EFI, cociente NRP/NRT, foliolos por hoja (NFH), vainas por planta (NVP); semillas por vaina (NSV), longitud de vaina (LV, cm) diámetro de vaina (DV, cm), espesor de vaina (EV, cm), peso de vaina por planta (PVP, g) y rendimiento (REND; el peso de vaina verde por parcela se extrapola a $t\ ha^{-1}$). Los caracteres cualitativos fueron: hábito de crecimiento (HC), porte de planta (PP), coloración de antocianinas en tallo (CAT), intensidad del color verde en follaje (IV), mancha de melanina en el estandarte (MME), pigmentación de antocianina en el estandarte (PAE), extensión de la pigmentación de antocianina en el estandarte (EPA), color de la mancha de melanina en las alas (CME), porte de la vaina (PV), y época de desarrollo completo de la vaina (EDV).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis de varianza individual y combinado (Anava), asumiendo que las localidades (A), los cultivares (G) y su interacción son factores aleatorios. La heredabilidad por ambiente se estimó como: $H^2 = (\sigma^2_G / \sigma^2_F) 100$, pero a través de éstos se calculó como: $H^2 = 100 \{ \sigma^2_G / [\sigma^2_G + (\sigma^2_{GA} / a) + (\sigma^2_E / ra)]$, donde: σ^2_G es la varianza genética entre cultivares; σ^2_F es la varianza fenotípica, σ^2_{GA} es la varianza de la interacción cultivares por ambientes; σ^2_E es la varianza del error combinado, a y r son el número de ambientes y de repeticiones (Holland *et al.*, 2003; Pérez *et*

al., 2007). Se utilizó el paquete estadístico InfoStat versión 2017 (Di Rienzo *et al.*, 2008). El Análisis de Componentes Principales (Sánchez, 1995), se hizo con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, versión 1988) pero el biplot se elaboró con Microsoft Excel. Se calculó el avance genético en unidad absoluta (GA) y la ganancia genética como porcentaje de la gran media (GAM) aplicando una presión de selección del 5 % a partir de: $GA = (i H^2 \sigma_f / media) 100$, donde i es la intensidad de la selección al 5%, y σ_f es la desviación estándar fenotípica (Johnson *et al.*, 1995).

Resultados y discusión

Análisis de varianza

Para ambientes (A) y cultivares (G) los valores de F fueron significativos ($P \leq 0.01$) en casi todas las variables, excepto en foliolos por hoja (NFH). En contra parte, en la interacción GxA no hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) en ramas totales (NRT), foliolos por hoja (NFH), semillas por vaina (NSV), longitud de vaina (LV), diámetro de vaina (DV) y espesor de vaina (EV). Los resultados mostrados en el Cuadro 2 indican que hubo heterogeneidad ambiental en ambas localidades, hay variabilidad genética entre cultivares y existe una clasificación diferente de las habas en ambos sitios, como lo reportaron Pérez *et al.* (2015), Tekalign *et al.* (2020), Ton *et al.* (2021), Abo-Hegazy (2022), y Kosev y Georgieva (2023), quienes encontraron diferencias significativas en las tres fuentes de variación previamente indicadas para altura de planta (AP), ramas totales (NRT), vainas por planta (NVP), semillas por vaina (NSV), peso de vaina por planta (PVP) y rendimiento ha^{-1} (REND).

Baginsky *et al.* (2013), por su parte, reportaron diferencias significativas sólo para REND y PVP.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F, gran media (X), y coeficiente de variación (CV) en 13 caracteres cuantitativos medidos en 25 cultivares de haba.

Carácter	Ambiente (A)	Rep(A)	G	G x A	Error	X	C.V%
AP	0.12*	0.13	0.06**	0.03*	0.02	1.39	10.36
APV	3757.84**	140.66	172.39**	61.92**	20.27	35.86	12.55
NRP	345.58**	4.01	3.69**	1.20**	0.58	5.56	13.66
NRT	173.72**	5.55	3.82**	0.77ns	0.70	6.38	13.15
EFI	0.88**	0.01	0.03**	0.03**	0.01	0.87	8.85
NFH	0.27ns	0.22	0.11ns	0.09ns	0.07	6.41	4.16
NVP	21201.94**	867.96	313.96**	141.39**	48.72	28.2	24.75
NSV	0.68**	0.22	0.15**	0.07ns	0.06	2.04	11.67
LV	3.73*	5.73	7.39**	0.77ns	0.63	10.25	7.76
DV	0.93**	0.02	0.57**	0.01ns	0.02	2.39	5.94
EV	0.39**	0.02	0.19**	0.01ns	0.01	1.74	6.32
PP	13297324.50**	212521.17	79596.88**	36935.96**	9369.08	457.25	21.17
REN	11976.57**	235.87	78.95**	28.99**	8.87	13.63	21.84

Los códigos que identifican la significancia estadística y a cada una de las variables que se muestran en el Cuadro 2 fueron descritas anteriormente.

Los Componentes de varianza (CV) y heredabilidad (H^2). Los CV se evalúan en términos de respuestas a la selección y el empleo del método de momentos, calculado con sus funciones lineales, permite estimar la variabilidad genética (H^2)

que existe entre cultivares cuando se emplean los cuadrados medios del análisis de varianza (Holland *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2007; Shimelis y Shringani, 2010). En la mayoría de los caracteres cuantitativos H^2 varió de 53.84 a 92.59 % en SNG y de 37.50 a 90.90 en SFO (Cuadro 3), resultados similares a los de Kumar *et al.* (2020) (40.01% para longitud de vaina, 88.43% para vainas por planta y 56.59% para diámetro de vaina).

Cuadro 3. Media aritmética (X), coeficiente de variación y heredabilidad (H^2) en 13 caracteres evaluados en 25 cultivares de haba.

Variable	X		CV (%)		H^2	
	SNG	SFO	SNG	SFO	SNG	SFO
AP	1.41 a	1.36 a	8.55	12.00	75.00	40.00
APV	40.20 a	31.53 b	10.34	15.29	87.58	75.55
NRP	4.25 b	6.87 a	17.94	11.02	74.44	78.24
NRT	5.45 b	7.31 a	14.95	11.80	64.51	72.52
EFI	0.80 b	0.93 a	11.57	6.07	80.00	68.00
NFH	6.44 a	6.37 a	3.73	4.56	0.00	38.46
NVP	17.91 b	38.50 a	28.18	22.04	72.41	80.17
NSV	2.10 a	1.99 b	11.61	11.73	53.84	37.50
LV	10.12 a	10.39 a	7.36	8.13	80.82	86.45
DV	2.32 b	2.46 a	5.54	6.28	92.59	0.00
EV	1.70 b	1.78 a	6.09	6.52	87.50	90.90
PP	199.40 b	715.100 a	27.44	17.55	78.29	84.67
REN	5.89 b	21.37 a	27.58	18.18	83.24	83.63

Los códigos para identificar la significancia estadística de los valores de F, así como los correspondientes a las variables registradas fueron descritas previamente.

En el análisis combinado se observó que la varianza de la IGA fue ligeramente mayor o igual que la varianza entre genotipos (G): estimaciones similares fueron observadas por Tadele *et al.* (2021) y Pérez *et al.* (2015). En el presente estudio se observó que en la mayoría de los caracteres H^2 varió de 41.39 a 96.69 % (Cuadro 4). Estos resultados indican que existe amplia variabilidad genética entre cultivares de haba pero que ésta también puede ser enmascarada por la IGA. Una estrategia importante para contrarrestar estos efectos negativos sería estratificar la heterogeneidad que causan las localidades contratantes formando grupos con aquellas que sean similares. También sería de gran ayuda practicar selección familiar para ampliar la adaptabilidad en los mejores cultivares, especialmente considerando componentes primarios del rendimiento que muestren altas correlaciones positivas entre ellos y con la productividad, tanto en fresco como en grano seco. No obstante lo anterior, estos resultados contrastan con los publicados por Abo-Hegazy (2022) quienes registraron en vainas por planta (79.84%), semillas por planta (80.87 %) y peso de semilla por planta (87.61 %) valores de 79.8, 80.9, y 87.6 %, respectivamente. Chaudhary *et al.* (2020) reportaron para NRT 62.80%, para NVP 70.30% y para rendimiento 82.90%.

Avance genético esperado

La ganancia genética, expresada como porcentaje de la gran media (GAM) y aplicando una presión de selección del 5 % para determinar la respuesta a la selección, se presenta en el Cuadro 4; en éste GAM presentó los valores más bajos en AP (5.30%), NFH (0.68 %) y NSV (7.05 %), y sus H^2 fueron menores al 50%. También se observó una moderada ganancia genética (G Δ) para NRT

(17.8%), REND (30.04%), NVP (25.15%), PVP (24.08%) y DV (22.24%) y sus estimaciones de H^2 fueron mayores al 50%; Chaudhary *et al.* (2020) reportaron valores de 25.11% para NRT, 23.20% para NVP y de 27.43% para REND. Tadele *et al.* (2021), Abo-Hegazy (2022), Ton *et al.* (2021), y Kosev y Georgieva (2023) concluyeron similarmente.

Cuadro 4. Componentes de varianza (CV) y heredabilidad (H^2) en la serie de experimentos

Variables	Combinado						
	σ^2_g	σ^2_f	σ^2_{gxa}	σ^2_e	H^2	GA	GAM
AP	0.002	0.007	0.003	0.020	41.39	0.07	5.30
APV	13.808	21.549	10.414	20.265	64.08	6.13	17.09
NRP	0.310	0.460	0.156	0.576	67.32	0.94	16.93
NRT	0.381	0.477	0.015	0.704	79.93	1.14	17.84
EFI	0.000	0.003	0.005	0.010	0.00	0.00	0.00
NFH	0.003	0.013	0.005	0.070	18.18	0.04	0.68
NVP	21.570	39.244	23.16	48.72	54.96	7.09	25.15
NSV	0.009	0.018	0.003	0.056	51.73	0.14	7.05
LV	0.827	0.923	0.033	0.633	89.58	1.77	17.30
DV	0.068	0.071	0.009	0.018	96.68	0.53	22.24
EV	0.022	0.023	0.0	0.011	94.06	0.30	17.14
PP	5332.615	9949.610	6891.717	9369.08	53.59	110.12	24.08
REN	6.244	9.868	5.031	8.866	63.27	4.09	30.04

Los códigos que son reportados en este Cuadro fueron descritos previamente.

Análisis de Componentes Principales (CP)

Los Componentes Principales 1 (41.26%) y 2 (22.36%) explicaron el 63.62% de la variación total (Figura 1), porcentajes deseables para interpretar confiablemente las correlaciones aproximadas que se observan en el biplot, como lo sugirieron Sánchez (1995) y Pérez *et al.* (2009). En el cuadrante 1 se observó alta correlación positiva entre rendimiento (REN) con eficiencia (EFI), peso de vaina por planta (PP), diámetro de vaina (DV), espesor de vaina (EV), y longitud de vaina (LV). Estas características servirán como criterio de selección indirecta para incrementar la producción en vaina verde o en grano seco.

La dispersión de los 25 cultivares en los cuatro cuadrantes del biplot confirma la existencia de amplia variabilidad genética entre cultivares de haba, la cual está disponible para iniciar un nuevo y mejor programa de mejoramiento en la región central de México. La variabilidad fenotípica que se detectó en las 25 colectas de haba fue mayor en AP, APV, NRP, NRT, NVP, LV, DV, EV y PP; Arab *et al.* (2018) reportaron mayor variabilidad en NVP, NSP y AP.

La colecta más sobresaliente fue la identificada como 25, proveniente de San Bartolo Apostol municipio de Santiago Tianguistenco, debido a la estrecha asociación positiva que tuvo con AP (1.48 cm), LV (11.26 cm), DV (2.65 cm), EV (1.89 cm) y PP (656.25 g), seguido de T11 (Zaragoza de Guadalupe); los genotipos T22 y T24 sobresalieron por su mayor número de vainas por planta. Estos resultados son similares a los reportados Pérez *et al.* (2015) y Kumar *et al.* (2020) quienes sugirieron como componentes principales del rendimiento en haba verde el diámetro, espesor y longitud de vaina (Kosev y Georgieva., 2023), número de semillas por planta (Abo-Hegazy, 2022; Arab *et al.*, 2018). Por otra parte, Kumar *et*

al. (2020) y Chaudhary *et al.* (2020) indicaron una situación similar para número de vainas por planta y peso de vainas verdes por planta (Yahia *et al.*, 2012; Mohamed *et al.*, 2013; Baginsky *et al.*, 2013). En este estudio el diámetro de semilla fue determinante para la obtención del máximo rendimiento en las colectas T19 y T25.

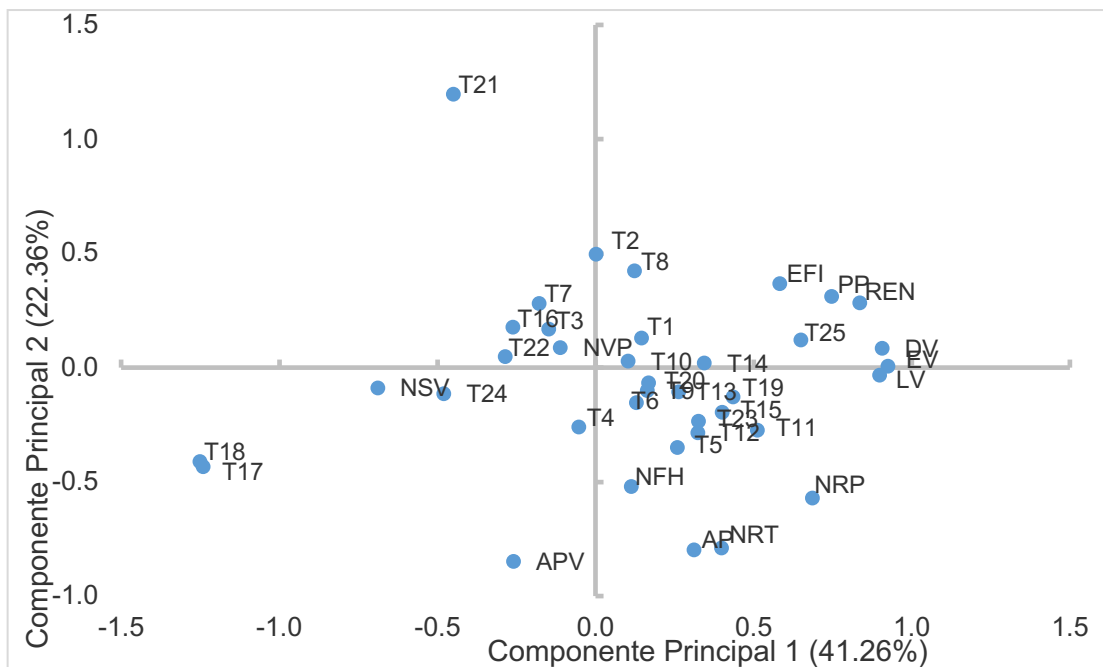


Figura 1. Interrelaciones entre 25 cultivares de haba (en número) y 13 variables agronómicas (en letra).

Caracteres cualitativos

La identificación de variabilidad genética (VG) entre y dentro de cultivares permite seleccionar variedades con características agronómicas deseables y contribuye al aumento parcial de la producción y de la calidad de semilla en haba (Salazar *et al.*, 2019). La descripción varietal permite una discriminación rápida y fácil entre fenotipos (SNICS, 2001), en características altamente heredables fácilmente detectadas a simple vista y con poca o nula variación con los ambientes (Yahia *et*

al., 2012; Pérez *et al.*, 2015). En este estudio se observaron diferencias fenotípicas en las 25 colectas (Cuadro 5) en hábito de crecimiento determinado (HC); en porte de planta dos fueron bajas, 17 intermedias y seis altas; la coloración de antocianina en tallo (CAT) estuvo presente (P); para intensidad del color verde en follaje (IV) tres cultivares fueron claro, y 22 medio; la mancha de melanina en el estandarte (MME) se manifestó en todas las colectas; la pigmentación de antocianina en el estandarte (PAE) estuvo presente; la extensión de la pigmentación antocianina en el estandarte (EPE) fue grande; para color de la mancha de la melanina en las alas (CMA) siete cultivares fueron marrón y 18 negro; para porte de la vaina (PV) seis colectas fueron erectas, 16 semierectas; para la época de desarrollo completo de vaina (ED) 15 fueron registradas con desarrollo medio y 10 como tardíos. Estos resultados contrastan con los reportados por Arab *et al.* (2018) y Amjad y Alghamdj (2023) quienes estimaron amplia variabilidad fenotípica en caracteres cuantitativos y cualitativos durante dos ciclos de evaluación.

Conclusiones

Los valores de heredabilidad mayores al 50 % indicaron que existe variabilidad fenotípica en la mayoría de los caracteres evaluados. El Análisis de Componentes Principales explicó un 63.62% de la variación total original y en éste se observó que la colecta identificada como T25 se correlacionó positiva y significativamente con EFI, NVP, DV, LV, PVP y REND, por lo que es posible practicar selección para incrementar la productividad con base en estos componentes del rendimiento. Con base en la GAM también puede predecirse que considerando NVP, DV, PVP y REND se tendría mayor avance genético a través de la selección. Como se

esperaba, en los caracteres cualitativos hubo poca variabilidad fenotípica y, por lo tanto también genética, pero estos caracteres mendelianos podrían utilizarse confiablemente para uniformizar la homogeneidad dentro de los cultivares de haba evaluados en el presente estudio.

Cuadro 5. Características de planta, follaje, flor y vaina en 25 cultivares de haba en dos ambientes del Estado de México.

Cultivar	Planta		Follaje		Flor				Vaina verde	
	H C	P P	CA T	I V	MM E	PA E	EP A	CM E	PV	EDV
T1	D	M	P	M	P	P	G	N	S	T
T2	D	B	P	M	P	P	G	N	S	M
T3	D	M	P	M	P	P	G	N	S	M
T4	D	M	P	M	P	P	G	M	S	T
T5	D	A	P	M	P	P	G	N	S	M
T6	D	M	P	M	P	P	G	M	S	M
T7	D	M	P	M	P	P	G	N	S	M
T8	D	M	P	M	P	P	G	N	S	T
T9	D	M	P	M	P	P	G	N	E	T
T10	D	M	P	M	P	P	G	M	S	M
T11	D	A	P	M	P	P	G	N	S	M
T12	D	A	P	C	P	P	G	N	S	T
T13	D	M	P	M	P	P	G	N	S	M
T14	D	M	P	M	P	P	G	N	S	M
T15	D	A	P	M	P	P	G	M	E	M
T16	D	M	P	M	P	P	G	N	E	T
T17	D	M	P	M	P	P	G	N	E	T
T18	D	M	P	M	P	P	G	M	S	T
T19	D	M	P	C	P	P	G	N	S	T
T20	D	M	P	M	P	P	G	N	E	M
T21	D	B	P	C	P	P	G	M	S	M
T22	D	M	P	M	P	P	G	N	E	M
T23	D	A	P	M	P	P	G	N	S	T
T24	D	M	P	M	P	P	G	M	S	M
T25	D	A	P	M	P	P	G	N	S	M

Colecta (T); HC: hábito de crecimiento, D= determinado I= indeterminado; PP: Porte de planta, B: baja, M: media, A: alta; CAT: Coloración de antocianinas en tallo, P: presente, A: ausente; IV: Intensidad del color verde en follaje, C: claro, M: medio, O: oscuro; MME: Mancha de melanina en el estandarte, P: Presente, A: Ausente; PAE: Pigmentación de antocianina en el estandarte, P: Presente, A: Ausente; EPA: Extensión de la pigmentación antociánica en el estandarte, P: pequeña, M: media, G: grande; CME: Color de la mancha de melanina en las alas, AV: amarillo verdoso, M: marrón, N: negro; PV: Porte de la vaina, E: erecto, S: semierecto, H: horizontal, SC: semicolgante, C: colgante; EDV: Época de desarrollo completo de la vaina (primeras vainas completamente desarrolladas), T: Temprana, M: media y T: tardía.

Literatura citada

- Abo-Hegazy, H.S.R.E. 2022. Genetic variability, heritability and path coefficient analyses of some agronomic traits in Faba bean (*Vicia faba* L.). Asian Journal of Plant Sciences. 21(1):469-474.
- Amjad, Z. and Alghamdi, S. S. 2023. Agro-morphological characterization of *Vicia faba* L. accessions in the Kingdom of Saudi Arabia. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. 17(11): 105-114.
- Annicchiarico, P. and Iannucci, A. 2008. Breeding strategy for Faba bean in Southern Europe based on cultivar responses across climatically contrasting environments. Crop Science 48(3):983-991.
- Arab, S.A.; Azza, F. El-S. and Marwa, K.A.M. 2018. Genetic diversity in some Faba bean landraces using morphological characters and yield components. Journal of Plant Production. 9 (12): 975-980.
- Baginsky, C.; Silva P.; Auza J. and Acevedo E. 2013. Evaluation for fresh consumption of new broad bean genotypes with a determinate growth habit in central Chile. Chilean Journal of Agricultural Research. 73(3):225-232.
- Chaudhary A.K.; Nath, S.; Hitaishi, S. K. and Dutt, A. 2020. Assessing of genetic variability, heritability and genetic advance in faba vean (*Vicia faba* L.) under sodic soil. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 9(5):966-970.
- CONAGUA. 2014. Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional, Normales climatológicas (consultado el 9 de mayo de 2024)

<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Duc, G.; Bao, S.b; Baum, M.; Redden B.; Sadiki, M.; Suso, M.J.; Vishniakova, M. and Zong X. 2010. Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources. *Field Crops Research*. 115(3) 270–278.

FAOSTAT 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations.(Consultado el 29 de abril de 2024).
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>

Holland, J.B.; Nyquist, W.E. and Cervantes M.C.T. 2003. Estimating and interpreting heritability for plant breeding: An update. *Plant Breeding Reviews*. 22(1):9-112.

Jhonson, H. W.; Robinson, H. F. and Comstock, R. F. 1955. Genotypic and phenotypic correlation in soybean and their implication in selection. *Agronomy Journal*, (47): 477-483.

Kosev, V. and Georgieva, N. 2023. Evaluation of the genetic diversity in broad bean (*Vicia faba* L.) accessions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 29(4):682-689.

Kumar, S.; Layek, S.; Upadhyay, A.; Pandit, M.K.; Nath, R. and Sarker, A. 2020. Genetic Characterization for Quantitative and Qualitative Traits and Its Relationship in Faba Bean (*Vicia Faba* L.). *Indian Journal of Agricultural Research*. 54(3): 336-342.

- Mohammed, O.A.A.; Hamid, A.A. and Bakheit, G.M. 2013. Correlation between seed yield components in Faba bean (*Vicia faba* L.). *Adv. Environ. Biol.* 7(1):82-85.
- Pérez, L.D.J.; González, H. A.; Rubí, A. M.; Franco, M.O.; Franco, M.J.R.P. y Padilla, L.A. 2015. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 6(7):1601-1613.
- Pérez, D.J.; González, A.; Sahagún, J.; Vázquez, L.M.; Franco, O. and Domínguez, A. 2009. The identification of outstanding potato cultivars using multivariate methods. *Ciencia e Investigación Agraria. J. Agric. Nat. Res.* 36(3): 391-400.
- Pérez, L.D.J.; Vázquez, G. L.M.; Sahagún, C.J. y Rivera, P.A. 2007. Variabilidad y caracterización de diez variedades de papa en tres localidades del Estado de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura.* 13(1):13-19.
- Rojas, T.J.; Díaz, R.R.; Álvarez, G.F.; Ocampo, M.J. y Escalante, E.A. 2012. Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores de Puebla y Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 3(1):35-49.
- Salazar, L.M.E.; Pérez, L.D.J.; González, H.A. y Vázquez, G.L.M. 2019. Variabilidad fenotípica en colectas de haba provenientes del Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 10(3):713-727.
- Sánchez, G.J.J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 18:188-203.
- SAS. 1988. *Statistical Analysis System. SAS/STAT 9.1 User's Guide-Release 9.01* edition Cary, NC. SAS Institute Inc.1861 p.
- SIAP. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (consultado el 7 de mayo de 2024). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

- Shimelis, H. and Shiringani, R. 2010. Variance components and heritabilities of yield and agronomic traits among cowpea genotypes. *Euphytica*. 176:385-389.
- SNICS. 2001. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Guía técnica para la descripción varietal de haba (*Vicia faba* L.). 12 p.
- Suso, M.J. and Maalouf, F. 2010. Direct and correlated responses to upward and downward selection for outcrossing in *Vicia faba*. *Field Crops Research*. 116(1):116-126.
- Tadale, M.; Mohammed, W. y Jarso, M. 2022. Genetic diversity of elite faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes based on agronomic traits and soil acidity stress indices. *American Journal y Bioscience and Bioengineering*. 10 (1):1-9.
- Tadele, M.; Mohammed, W. and Jarso, M. 2021. Variation in genetic variability and heritability of agronomic traits in Faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes under soil acidity stress evaluated with and without lime in Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. 17(2): 355-364.
- Tekalign, A.; Derera J. and Sibiya, J. 2020. Phenotypic diversity among Faba bean (*Vicia faba* L.) landraces from the Ethiopian Highlands. *Ethiopian Journal of Agricultural Sciences* 30(1): 17-34.
- Ton, A.; Karaköy, T.; Anlarsal, A. E. and Türkeri, M. 2021. Genetic diversity for agromorphological characters and nutritional compositions of some local faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 45(3):301-312.
- Yahia, Y.; Guetat, A.; Elfalleh, W.; FeRchichi, A.; Yahia, H. and Loumerem, M. 2012. Analysis of agromorphological diversity of southern Tunisia Faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm. *Afr. J. Biotechnol*. 11(56): 11913-11924.

Aplicación de descriptores varietales en *Vicia faba* L. en la caracterización de cultivares

María Teresa Oliveros González¹

Delfina de Jesús Pérez López²

Andrés González Huerta³

Dora María Sangerman Jarquín⁴

José Francisco Ramírez Dávila⁵

Agustín Navarro Bravo⁶

Resumen

La importancia en la caracterización de especies vegetales de relevancia económica es conocer la variabilidad genética disponible para ser usada en programas de mejoramiento genético. Los descriptores varietales se usan en la identificación de características fenotípicas, sin embargo, muchos de ellos no se visualizan gráficamente, lo que no ayuda a la caracterización, por lo que el objetivo del presente trabajo fue realizar una guía gráfica de doce descriptores de la UPOV en el cultivo de haba, lo que facilitará el registro de caracteres agromorfológicos en campo.

¹ Maestría en Ciencias en Biotecnología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7991-3292>

² Doctora en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1621-5690> ; correo para correspondencia: djperezl@uaemex.mx

³ Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6055-7597>

⁴ Doctora en Ciencias, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Texcoco, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-1182>

⁵ Doctor en Fisiología y Biología Animal. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8625-4655>

⁶ Doctor en Ciencias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México INIFAP, Texcoco, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9658-11826>

Introducción

Vicia faba L., es una especie diploide ($2n = 12$) parcialmente alógama, es la tercera leguminosa de grano más importante después de la soya (*Glycine max* L.) y el chícharo (*Pisum sativum* L.) (Carrillo et al., 2020; Sharan et al., 2021). La caracterización agromorfológica es importante para describir cultivares de haba como una etapa previa a su mejoramiento genético (Khamassi, 2021). En México esta leguminosa es importante en los Valles Altos de la Mesa Central, que comprenden a los estados de Tlaxcala, Puebla, Michoacán, Guanajuato, Veracruz y Estado de México (Jordán et al., 2019).

Las guías de descripción varietal son documentos básicos técnicos, elaborados con base en estándares nacionales o internacionales por lo que existen diferentes referencias, entre las más usadas están International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) y International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR).

Los estudios de variabilidad basada en rasgos agromorfológicos son una herramienta fundamental en los esquemas de mejoramiento genético, conservación eficiente de germoplasma y en la producción de semilla (Pearce et al., 2000; Cordeiro et al., 2003). Dichos rasgos son utilizados para diferenciar las cultivares, y estos ilustran en forma gráfica la variabilidad fenotípica que existe en una colecta. El principal objetivo de este trabajo es facilitar el uso y la aplicación de los descriptores gráficos para identificar variedades de haba. Este material gráfico puede ser usado por productores, investigadores y estudiantes con propósitos de investigación, producción y comercialización, y al estar basado en normas internacionales su uso se puede extender a cualquier región donde se siembre esta leguminosa.

DESCRIPCIÓN VARIETAL

CARACTERES DE LA SEMILLA

Semilla: tanino

Nota UPOV	Clasificación	
	1	9
Color	Ausente	Presente

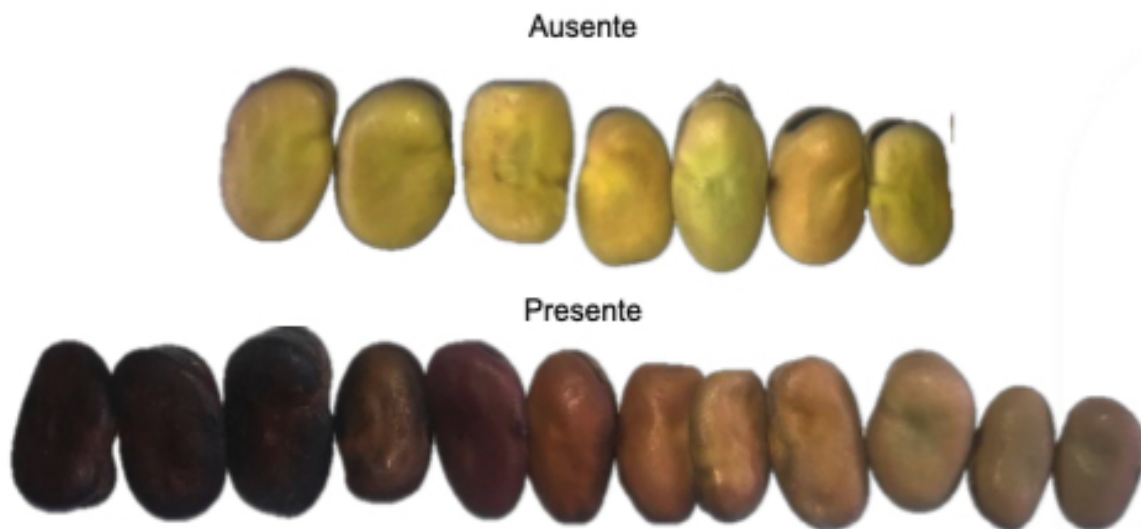


Imagen 1. Grado de contenido de taninos en las semillas.

El contenido en tanino de la testa corresponde con la mancha de melanina de la quilla de la flor. Es necesario mantener ambos caracteres ya que las observaciones se efectúan en épocas y momentos muy diferentes. El contenido en tanino puede evaluarse extrayendo una pieza de la testa de la semilla y colocando una a dos gotas del reactivo en su superficie interna. Transcurridos uno o dos minutos aparecerá un color rosa vivo en presencia de taninos. (Reactivos: A= 50% de etanol; B= 1% de vainillina en concentrado HC1, los reactivos A y B se mezclan en una proporción de 1:1 para su utilización. A los fines de este ensayo, ‘concentrado’ se define como la gama que va de 33% al 37% del peso por el volumen). Las semillas que presentan un color gris amarillento inmediatamente después de la cosecha se convertirán en marrones con el paso del tiempo si contienen tanino (UPOV, 2020).

CARACTERES DE LA SEMILLA

Semilla: forma de la sección media longitudinal

	Clasificación					
	Elíptica	Elíptica ancha	Circular	Oblonga	Rectangular	Ovalada
Nota guía México	1	2	3	4	5	6
Forma						

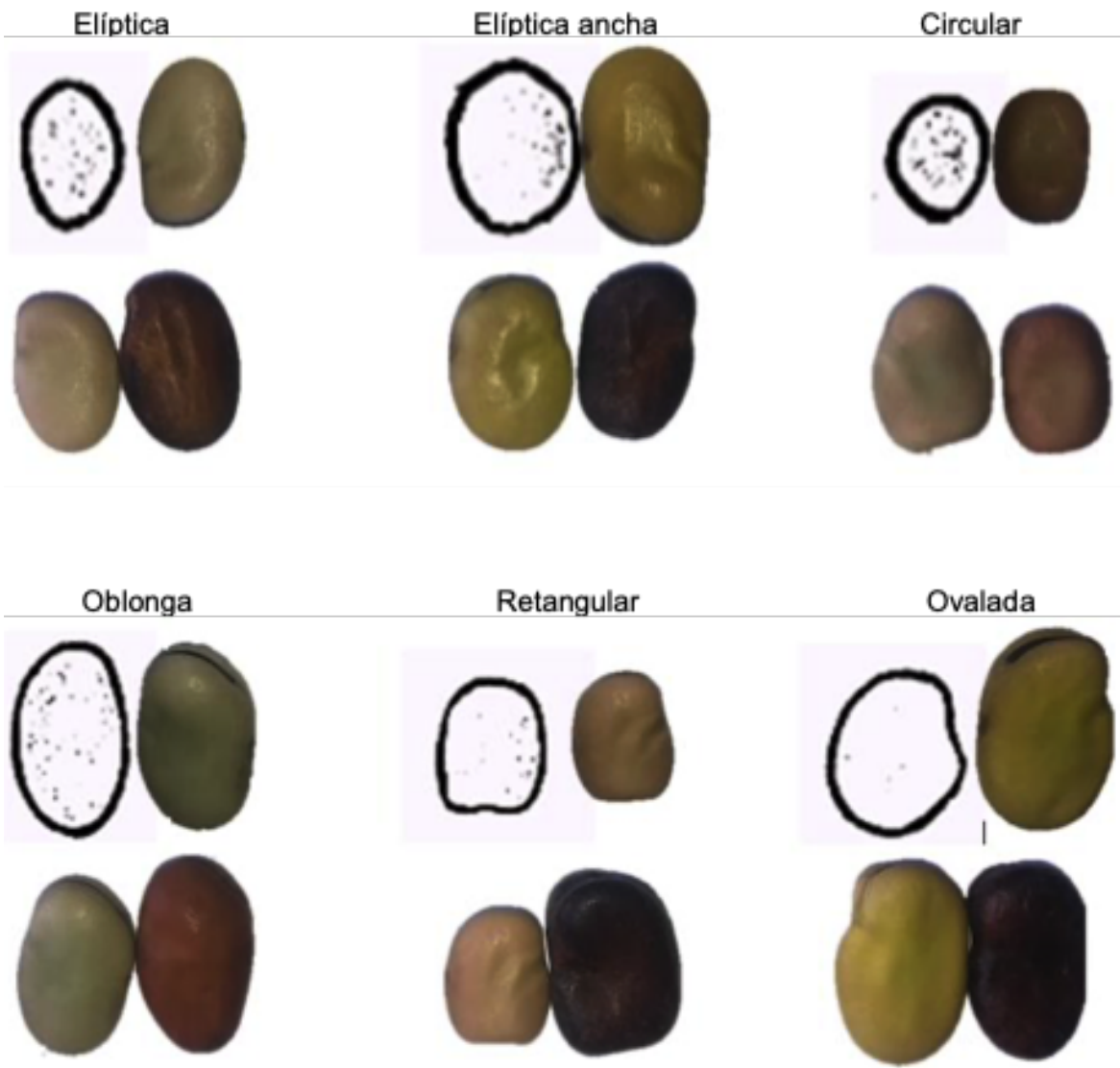


Imagen 2. Tipos de forma de las semillas.

CARACTERES DE LA SEMILLA

Semilla: tamaño

	Clasificación		
	Pequeña	Mediana	Grande
Nota propuesta del autor	1	2	3
Tamaño (largo)	1-1.5 mm	1.5-2 mm	2-2.5 mm

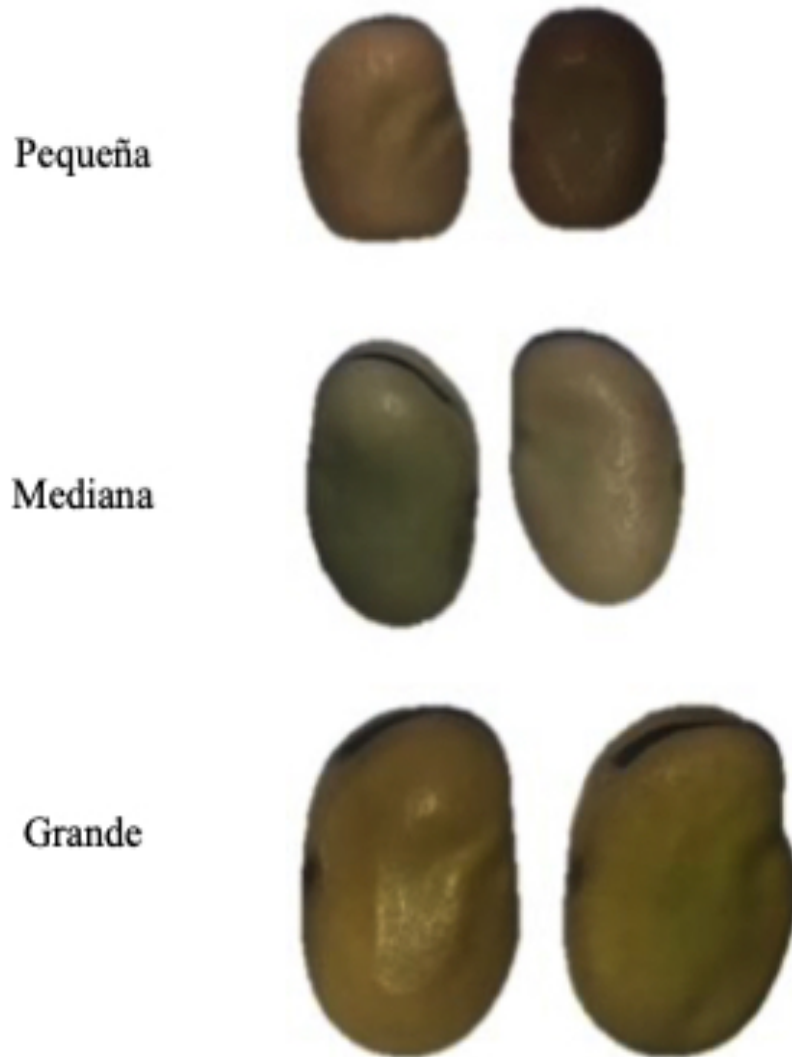




Imagen 3. Clasificación de tamaño de las semillas.

CARACTERES DEL TALLO

Tallo: pigmentación antociánica

	Clasificación	
	Ausente	Presente
Nota UPOV	1	9
Color		

Ausente





Presente



Imagen 4. Presencia de pigmentación antociánica en tallos.

CARACTERES DEL FOLLAJE

Follaje: tono grisáceo del color verde

	Clasificación	
	Ausente	Presente
Nota UPOV	1	9
Color		

Ausente






Presente



Imagen 5. Tono grisáceo del color verde en el follaje.

CARACTERES DEL FOLLAJE

Follaje: intensidad del color verde

	Clasificación		
	Claro	Medio	Oscuro
Nota UPOV	3	5	7
Color			

Claro



Medio





Oscuro



Imagen 6. Tono grisáceo del color verde en el follaje.

CARACTERES DE LA FLOR

Estandarte: mancha de melanina

Nota UPOV	Clasificación	
	Ausente	Presente
	1	9
Color		

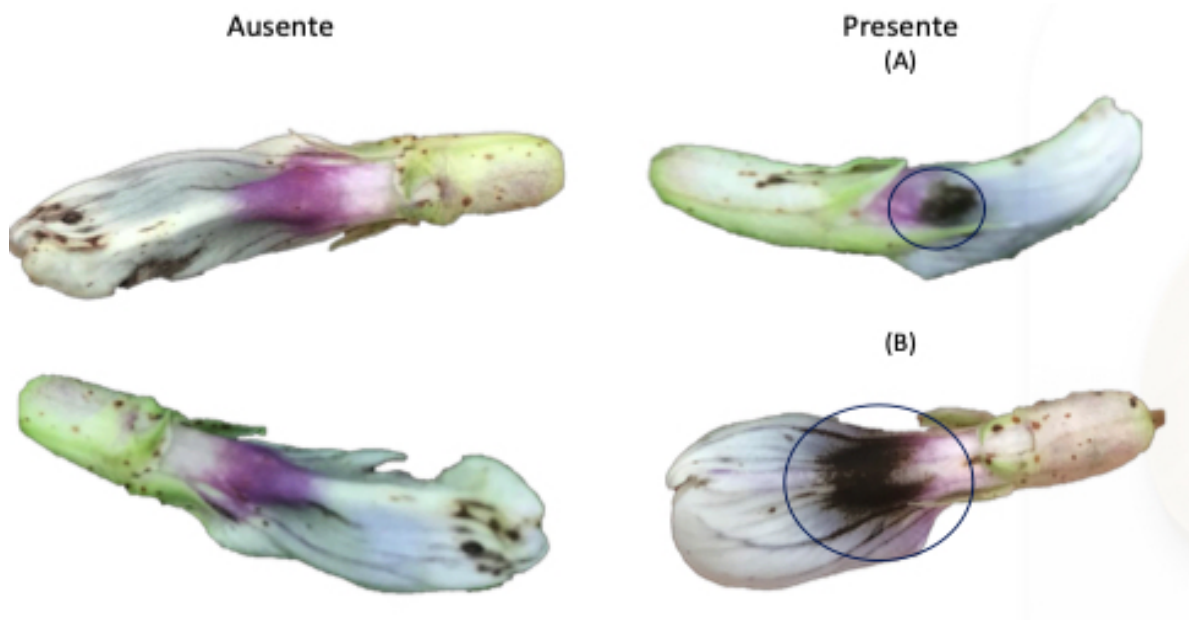
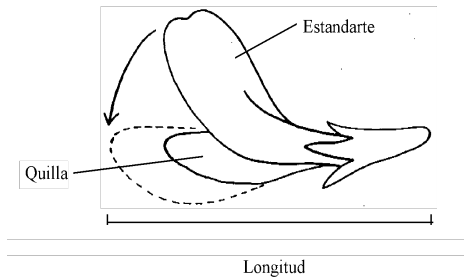




Imagen 7. Mancha de melanina en el estandarte.

(A) Mancha color pardo o negro que aparece en la parte exterior basal o media del estandarte, su presencia puede ser solo como manchas de costado,
(B) o bien, una mancha central grande que se extiende del centro a las orillas del estandarte, como se observa en la imagen.

CARACTERES DE LA FLOR

Estandarte: pigmentación antociánica



	Clasificación	
	Ausente	Presente
Nota UPOV	1	9
Color		

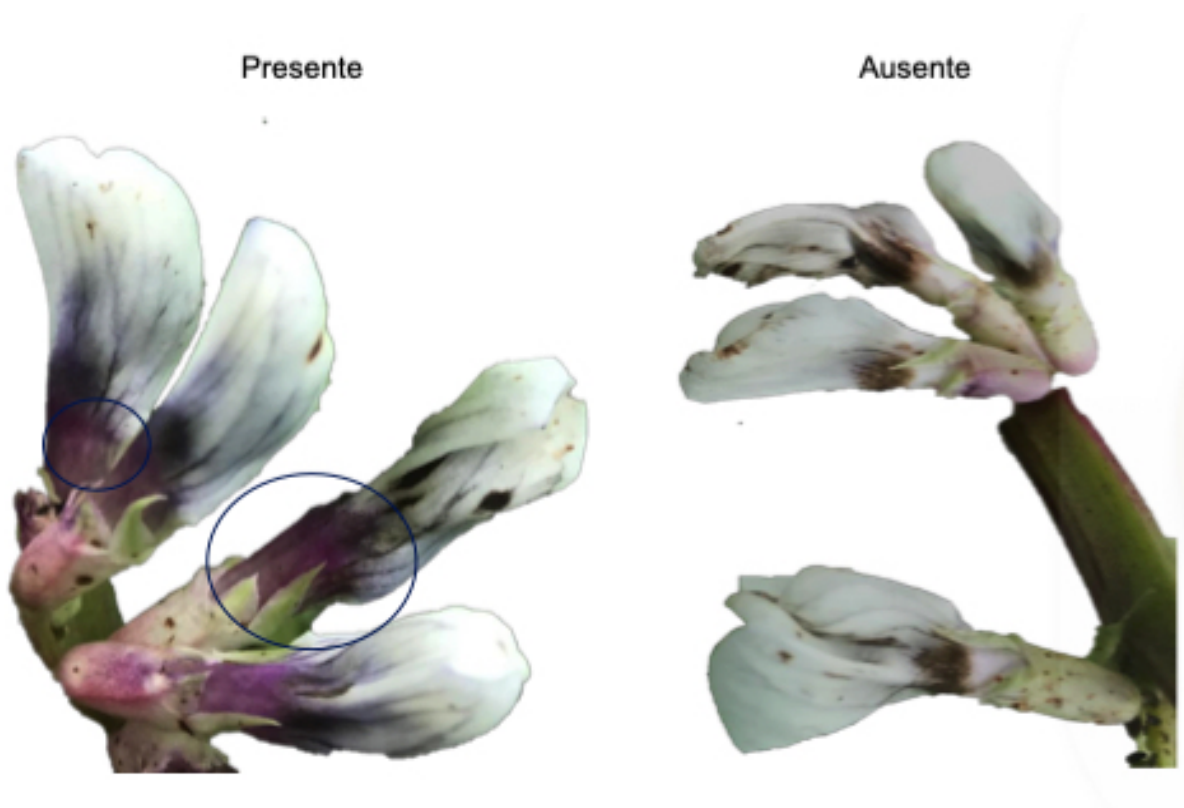


Imagen 8. Pigmentación antociánica en el estandarte.

Esta pigmentación se identifica con facilidad, ya que aparece en el exterior del estandarte mediante una mancha de color rojizo claro, rosa o morado. En algunos casos pueden aparecer ambas manchas, la de melanina y la antociánica.

CARACTERES DE LA FLOR

Estandarte: extensión de la pigmentación antocianica

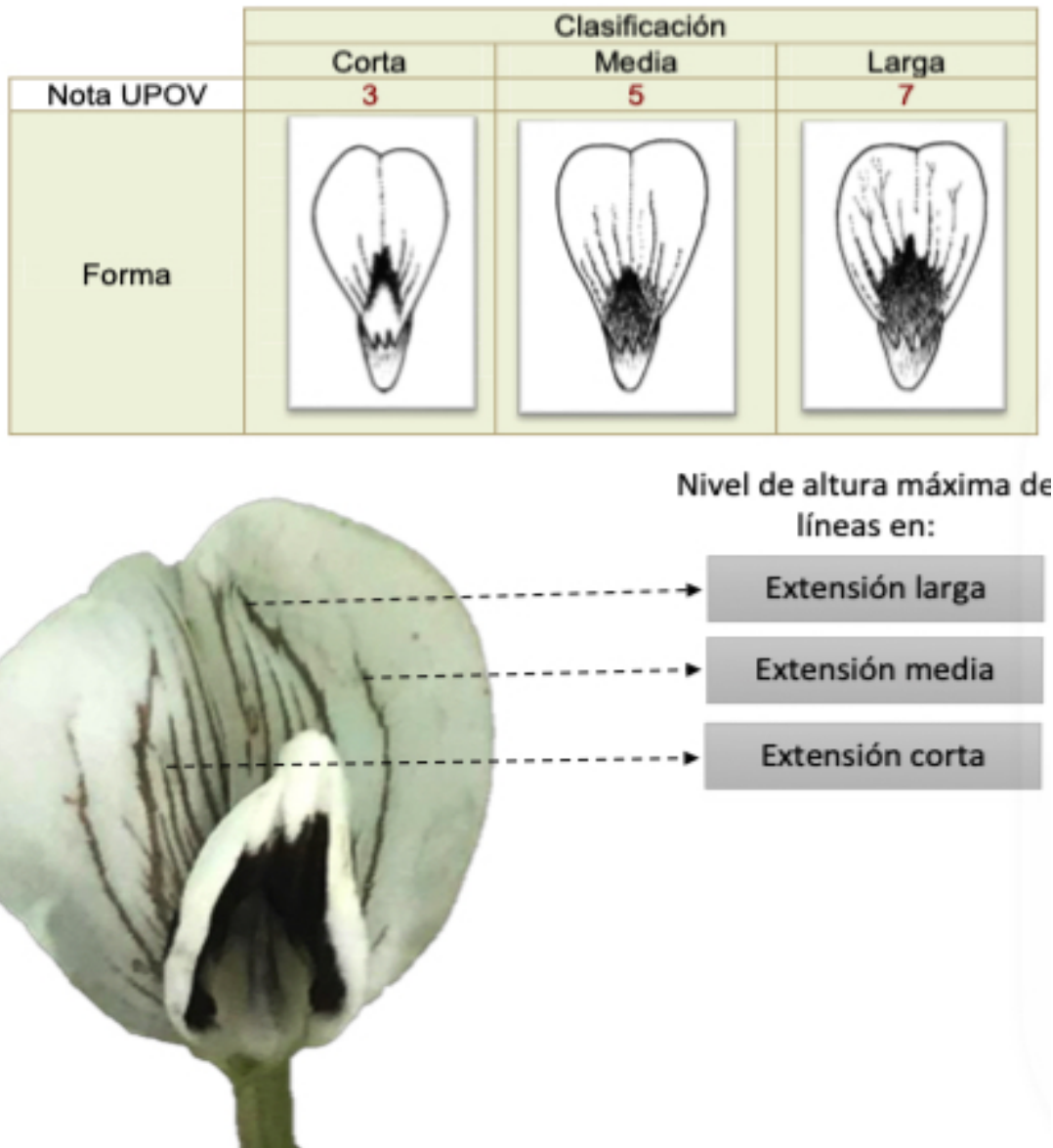





Imagen 9. Extensión de la pigmentación antocianica en el estandarte.

La extensión de pigmento en el estandarte se hace notar como líneas que extienden de la base hasta la punta de este pétalo, la largura de estas líneas determina la extensión, siendo la extensión más larga aquellas líneas que lleguen desde la base del estandarte hasta la punta del mismo.

Las observaciones se efectuarán en la cara interna del estandarte (UPOV).

CARACTERES DE LA FLOR

Quilla: color de la mancha de melanina

	Clasificación		
	Amarillo verdoso	Marrón	Negro
Nota UPOV	1	2	3
Color			

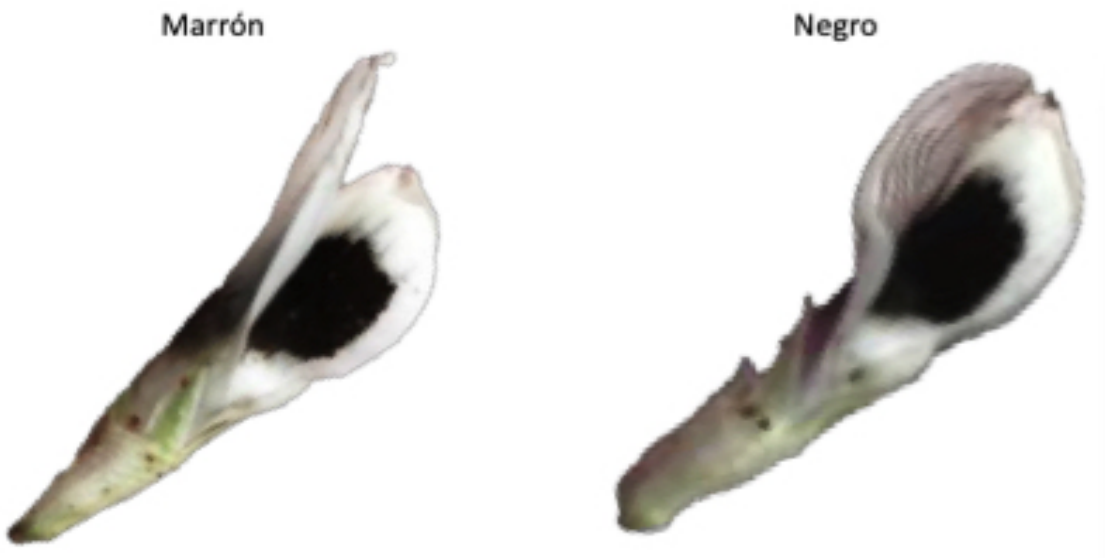


Imagen 10. Color de la mancha de melanina en la quilla.

Considerando la estructura de la flor, una vez que se identificó el estandarte (pétalo más largo y este es la capa exterior) y si se remueve se localizará la quilla, esta estructura floral tiene una mancha de color, la cual es de melanina y puede variar en tonos como se indica arriba. En las imágenes no se muestra el color amarillo verdoso, debido a que no se observaron con variedades que contengan ese carácter.

Para diferenciar con claridad se recomienda verificar el color a contraluz, lo que favorece la diferenciación de tonos de una manera más clara y evidente.

CARACTERES DE LA VAINA

Vaina: porte

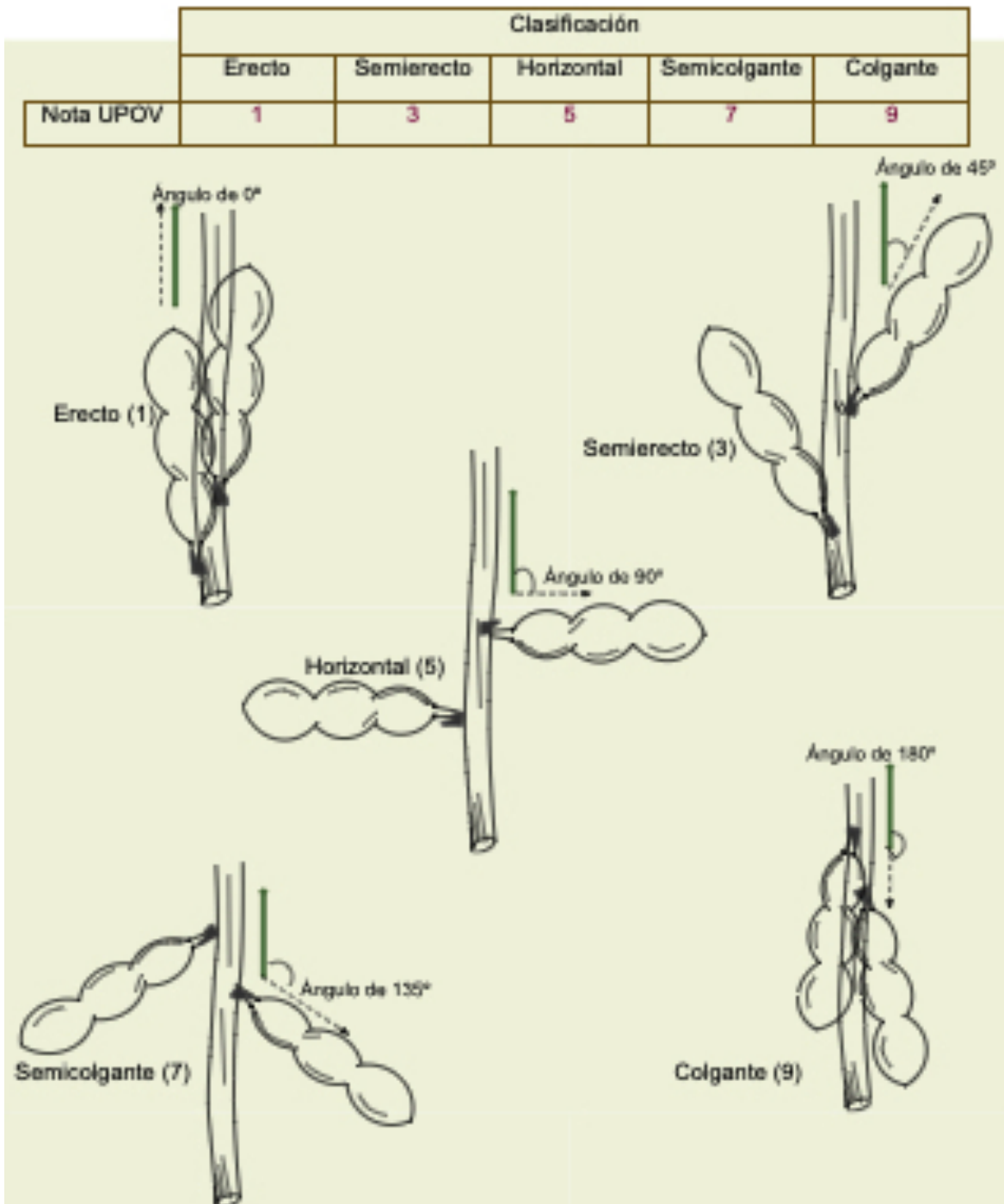








Imagen 11. Porte de la vaina ilustrativo en dibujo.

CARACTERES DE LA VAINA

Vaina: porte

Tipo	Individual	En planta
Erecto		
Semierecto		
Horizontal		

CARACTERES DE LA VAINA









Tipo	Individual	En planta
Semicolgante		
Colgante		

Imagen 12. Porte de la vaina en fotos.

El porte de la vaina representa el ángulo de inclinación en el que crece y se posiciona la vaina en función a un eje vertical, en este caso relación al tallo principal.

CARACTERES DE LA VAINA

Vaina: grado de curvatura en estado de vaina verde

	Ausencia o muy débil	Débil	Media	Fuerte
Nota	1	3	5	7
Forma				

Ausente o muy débil

Débil

Mediana

Fuerte



Imagen 13. Grado de curvatura de la vaina.

Discusión

En los últimos años el haba (*Vicia faba* L.) ha enfrentado muchos problemas como la no disponibilidad de variedades mejoradas, la no adopción de una mejor tecnología de producción, daños causados por plagas de insectos y la inestabilidad del rendimiento debido a la interacción cultivar por ambiente (Gresta et al., 2010), siendo éstas las principales razones de su declive (FAO, 2008) con un potencial de rendimiento bajo en sus variedades. La mejora genética sólo es posible si se caracteriza y se evalúa cuidadosamente las accesiones disponibles considerando sus parámetros genéticos orientados a incrementar su rendimiento (De Giorgio, 2001). Este fondo genético único es la herramienta más importante para la mejora de los cultivos (Nadal, 2003; Terzopoulos et al., 2008).

Los antecedentes que existen sobre este tópico sugieren que sólo se dispone de formas cultivadas, pero sus ancestros silvestres no se han descubierto quizás porque se han extinguido; esto podría deberse a que las habas tienen un genoma complejo, muestran un porcentaje relativamente alto de polinización cruzada, así como problemas de estabilidad que dificultan significativamente su mejora genética en todo el mundo. La variabilidad morfológica de las especies se basa en gran medida en diferencias en los rasgos morfológicos, como la forma, el tamaño de la semilla, el color del hilio de la semilla, el color de la flor y el número de tallos por planta, que son importantes para la mejora genética (Metayer, 2004).

Por la limitada diversidad genética que existe en *V. faba*, resulta crucial centrarse en sus aspectos agromorfológicos. Este enfoque podría permitir la selección de genotipos realmente superiores. En el contexto anterior, los estudios que ayudan a la caracterización son: 1) seleccionar e identificar cultivares de alto rendimiento adecuados al propósito de su cultivo, 2) establecer una colección central para su futura conservación y utilización en todo el mundo, y 3) evaluar la variabilidad genética de las accesiones (Amjad et al., 2023).

Conclusiones

En el mejoramiento genético es importante la caracterización agromorfológica para diferenciar fenotípicamente diferentes accesiones, genotipos o cultivares, como una

etapa previa también a su caracterización molecular, por lo que disponer de una guía técnica de descripción varietal gráfica es importante en la generación de una nueva variedad para que sea registrada ante el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

Referencias

- Amjad, Z. & Salem S., A. (2023). Agro-Morphological Characterization of *Vicia faba* L. Accessions in the Kingdom of Saudi Arabia. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering* 17(11): 105-114.
- Carrillo, P. E.; Vidal, A., & Kreplak J. (2020). Development of new genetic resources for faba bean (*Vicia faba* L.) breeding through the discovery of gene-based SNP markers and the construction of a high-density consensus map. *Scientific Reports*, 10(6790): 1-14.
- Cordeiro, G. M., Pan, Y. B., & Henry, R. J. (2003). Sugarcane microsatellites for the assessment of genetic diversity in sugarcane germplasm. *Plant Science*, 165(1): 181-189.
- Cubero, J. I. (1984). Taxonomy, distribution, and evolution of the faba bean and its wild relatives. *In: Advances in Agricultural Biotechnology. Genetics resources and their exploitation-chickpeas. Faba bean and lentils*-Martinus-Nijhoff/Junk Publishers for ICARDA and IBPGR. Netherlands, pp: 131-144.
- De Giorgio, D. & Polignano, G. (2001). Evaluating the biodiversity of almond cultivars from a germplasm collection field in Southern Italy. *Sustaining the Global Farm*, Vol: 56, pp: 305-311.
- FAO. (2008). Food and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT. Available www.fao.org/ag/statist.asp. Assessed at October 28, 2011.
- Gresta, F., Avola, G., Albertini, E., Raggi, L., & Abbate, V. (2010). A study of variability in the Sicilian faba bean landrace 'Larga di Leonforte'. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57(4): 523-531.
- Jordán, A. B., Díaz, R. R., Ocampo, F. I., Jacinto, H. C., Salvador, E. E. A. A., & Pérez, R. E. (2019). Características relacionadas con el consumo de haba

- consideradas por las amas de casa de la región productora de Puebla y Tlaxcala, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. 29(54): 6.
- Metayer, N. (2004). Vicia faba breeding for sustainable agriculture in Europe-identification of regional priorities and definition of target genotypes. GIE Fvérole, Paris, pp: 5.
- Nadal, S., Suso, M., & Moreno, M. (2003). Management of Vicia faba genetic resources: changes associated to the selfing process in the major, equina and minor groups. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50(2), pp: 183-192.
- Pearce, S. R., Harrison, G.; Li, D., Heslop-Harrison, J. S., Kumar, A., & Flavell, A. (2000). The Ty1-copia group retrotransposon in Vicia species: copy number, sequence heterogeneity and chromosome localization. *Molecular Genetics and Genomics*. 250(3): 305-315.
- Sharan, S., Zanghelini, G., & Zotzeletal, J. (2021). Genetic Variability of Tunisian Faba Beans (*Vicia faba* L.) Based on Seeds' Morphophysical Properties as Assessed by Statistical Analysis, *Journal of Food Quality*, 2021(9493607): 1-10.
- Sharan, S., Zanghelini, G., & Zotzel, J. (2021). Favabean (*Vicia faba* L.) for food applications: from seed to ingredient processing and its effect on functional properties, antinutritional factors, flavor, and color. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1): 401–428.
- Terzopoulos, P. & Bebeli, P. (2008). Genetic diversity analysis of Mediterranean faba bean (*Vicia faba* L) with ISSR markers. *Field Crops Research*, 108(1): 39-44.
- Unión para la Protección de la Obtenciones Vegetales. (2007). Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad de haba (*Vicia faba* L.). <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg206.pdf>.

V. CONCLUSIONES GENERALES

- Fue posible evaluar la variabilidad genética presente en la colecta de 25 materiales del Estado de México, aplicando caracterización morfológica mediante la selección de 13 descriptores varietales cuantitativos y 10 cualitativos de la UPOV, encontrando diferencias significativas entre los dos ambientes, los genotipos y su interacción para la mayoría de los caracteres cuantitativos evaluados, mientras que en los cualitativos se observó poca variabilidad fenotípica.
- La colecta más sobresaliente fue la identificada como T25, proveniente de San Bartolo Apostol municipio de Santiago Tianguistenco, debido a la estrecha asociación positiva que tuvo con AP (1.48 cm), LV (11.26 cm), DV (2.65 cm), EV (1.89 cm) y PP (656.25 g).
- Fue posible crear una guía gráfica de doce descriptores de la UPOV en el cultivo de haba, lo que facilitará el registro de caracteres agro morfológicos en campo.
- El Análisis de Componentes Principales explicó 63.62 % y los principales componentes asociados al rendimiento fueron EFI, NVP, DV, LV, PVP y REND.
- Los valores de heredabilidad mayores al 50 % indican que existe variabilidad fenotípica en la mayoría de los caracteres evaluados.
- La predicción de ganancia genética indicó que con NVP, DV, PVP y REND se tendría mayor avance genético por selección.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, K. N., Khazaei, H., Ghaouti, L., Maalouf, F., Vandenberg, A., Link, W. and O'Sullivan, D. M. 2021. Conventional and molecular breeding tools for accelerating genetic gain in faba bean (*Vicia faba* L.). *Frontiers in plant science*, 12, 744259.
- Ahmad, M.S.H. 2016. Studies on genetic variability, heritability and genetic advance in segregating generations of faba bean (*Vicia faba* L.). *Middle East J. Agric. Res.* 5: 82-89.
- Ajam Norouzi, H. and Vazin, F. 2011. Prediction of flowering occurrence in faba bean (*Vicia faba* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 39:198-207.
- Alan, O. and Geren, H. 2007. Evaluation of heritability and correlation for seed yield and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.). *J. Agron.* 6: 484-487.
- Alghamdi, S.S.; Migdadi, H.M.; Ammar, M.H.; Paull, J.G. and Siddique, K.H.M. 2012. Faba bean genomics: current status and future prospects. *Euphytica* 186:609-624.
- Alharbi, N. H. and Adhikari, K. N. 2020. Factors of yield determination in faba bean (*Vicia faba*). *Crop and Pasture Science*, 71(4), 305.
- Allard, R.W. 1960. *Principle of Plant Breeding*. John Wiley and Sons Inc. Publisher, New York, USA.
- Álvarez, D.; Maigual, H.; Salazar, C. y Betancourth, C. 2023. Caracterización fenotípica y clasificación jerárquica de 73 accesiones de haba (*Vicia faba* L.) colectadas en Nariño. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(2): 11-27.
- Andrés F. and Coupland, G. 2012. The genetic basis of flowering responses to seasonal cues. *Nature Reviews. Genetics* 13: 627–639.
- Asnakech, T.; Derera, J.; Sibiya, J. and Asnake, F. 2016. Participatory assessment of production threats, farmers' desired traits and selection criteria of faba bean (*Vicia faba* L.) varieties: opportunities for faba bean breeding in Ethiopia. *Indian Journal of Agriculture Research* 50(4): 295-302.

- Biswas, M.; Hossain, M. and Fakir, M. 2005. Effect of defoliation at vegetative stage on dry mass production and yield in cowpea. *Journal of Bangladesh Agricultural University* 3:13–20.
- Bond, D.A. 1966. Yield and components of yield in diallel crosses between inbred lines of winter beans (*Vicia faba* L.). *Journal of Agricultural Science of Cambridge* 67: 335-336.
- Bond, D.A. 1987. Recent Developments in Breeding Field Beans (*Vicia faba* L.). *Plant Breeding*, 90(1):1-26.
- Bond, D. and Poulsen, M. 1983. Pollination. In 'The faba bean (*Vicia faba* L.), a basis for improvement'. (Ed. PD Hebblethwaite) pp. 77–101. (Butterworths: London).
- Catt, S.C. and Paull, J.G. 2017. Effects of ambient temperature and photoperiod on flowering time in faba bean (*Vicia faba* L.). *Crop and Pasture Science* 68: 893-901.
- Catt, S. C.; Braich, S.; Kaur, S. and Paull, J. G. 2017. QTL detection for flowering time in faba bean and the responses to ambient temperature and photoperiod. *Euphytica* 213-125.
- Clifford, P.; Pentland, B. and Baylis, A. 1990. Reproductive abscission patterns in faba bean (*Vicia faba* L. cv. Troy). *FABIS Newsletter* 27: 5-9.
- Cubero, J.I. 1973. Evolutionary trends in *Vicia faba*. *Theor. Appl. Genet.* 43: 59-65.
- Cubero, J.I. 1974. On the evolution of *Vicia faba* L. *Theor. Appl. Genet.* 45: 47-51.
- Díaz R.R.; Delgado A.A.; Herrera, C.B. E. and Sandoval C.E. 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. pp: 188-190.
- Egeland, J. 2023. Heritability and Etiology: Heritability estimates can provide causally relevant information. *Personality and Individual Differences* 200 (5):1-7.
- Ejigu, E; Wassu, M. and Berhanu, A. 2016. Genetic variability, heritability and expected genetic advance of yield and yield related traits in common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) at Abaya and Yabello, Southern Ethiopia. *African Journal of Biotechnology* 17(31):973-980.

- Ellis, R.; Summerfield, R. and Roberts, E. 1988. Effects of temperature, photoperiod and seed vernalization on flowering in faba bean (*Vicia faba*). *Annals of Botany* 61:17-27.
- Fakir, M. 1997. A study on morphophysiological selection criteria related to yield in pigeonpea. PhD Thesis, Department of Plant Science, University of West Indies, Trinidad.
- Falconer, D.S. and Mackay, T.F.C. 1986. *Introduction to Quantitative Genetics*. 4th ed. Pearson Prentice Hall, Harlow, England. 480 p.
- FAOSTAT, 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (Consultado el 10 de febrero de 2025). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Flores, F.; Nadal S.; Solis I.; Winkler J.; Sass O.; Stoddard F.L.; Link W.; Raffiot B.; Muel, F. and Rubiales, D. 2012. Faba bean adaptation to autumn sowing under European climates. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (3):727-734.
- Franco, L. T., e Hidalgo R. 2003. Análisis estadístico de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. Boletín técnico No.8, Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia.89 p.
- Free, J. 1993. 'Insect pollination of crops.' pp. 172–180. (Academic Press: London)
- Gemechu, K. and Mussa, J. 2009. Comparison of two approaches for estimation of genetic variation for two economic traits in Faba bean genotypes grown under waterlogged verisols. *East African Journal of Sciences* 3(1):95-101.
- Hamza, F.E.; Khalifa, G.E. and Ahmed, A.A. 2017. Assessment of genotypic and phenotypic variability, heritability and genetic advance for seed yield and related agronomic traits in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes in the Northern State, Sudan. *Net Journal of Agricultural Science* 5(2):48-52.
- Haridy, M.H. and El-Said, M.A. 2016. Estimates of genetic parameters using populations in Faba bean (*Vicia faba* L). *Journal of Plant Production, Mansoura University* 7(12):1443-1447.

- Hopf, M. 1973. Frühe Kulturpflanzen aus Bulgarien. Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, 20:1–47.
- Islam, M.; Rahim, M. and Prodhan, A. 2010. Flowering pattern, floral abscission and yield attributes in soybean influenced by GABA. Journal of the Bangladesh Agricultural University, 8:29-33.
- Johnson, H.W.; Robinson, H.F. and Comstock, R.F. 1955. Genotypic and Phenotypic correlation in soybean and their implication in selection. Agronomy Journal 47(10):477-483.
- Kirk, W. D. J. 2004. Faba bean: *Vicia faba*. Bee World, 85(3) : 60-62.
- Kyllönen, T. 2018. Effects of pollination on pod distribution in faba bean (*Vicia faba* L.). Masters Thesis, University of Helsinki, Finland.
- Ladizinsky, G. 1975. On the origin of the broad bean *Vicia faba* L. Israel J. Bot. 24:80-88.
- Lawes, D.A.; Bond, D.A. and Poulsen, M.H. 1983. Classification, origin, breeding methods and objectives. In: Hebblethwaite PD (ed). The faba bean (*Vicia faba* L.) A basis for improvement. Butterworths, London, U. K.
- Lush, J. L. 1948. The genetics of populations. Mimeographed notes. Iowa State University, Ames. USA.354 p.
- Macfarlane, R.; Patten, K.; Royce, L. and Wyatt, B. 1995. Applied pollination in temperate areas. In 'Pollination of cultivated plants in the tropics'. (Ed. DW Roubik) pp. 20–39. (Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome)
- Maxted, N., 1995. An ecogeographical study of *Vicia* subgenus *Vicia*. Systematic and Eco geographical Studies on crop Genepools, vol. 8. IPGRI, Rome.
- McDonald, G.; Adisarwanto, T. and Knight, R. 1994. Effect of time of sowing on flowering in faba bean (*Vicia faba*). Australian Journal of Experimental Agriculture 34, 395–400.

- Mesfin, T. 2019. Breeding achievements of faba bean (*Vicia faba* L.) and its impact in the livelihood of Ethiopian farmers. International Journal of Agriculture and Biosciences 8(5):263-269.
- Mesfin, T.; Wassu, M. and Mussa, J. 2019. Genetic Variability on Grain Yield and Related Agronomic Traits of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Genotypes under Soil Acidity Stress in the Central Highlands of Ethiopia. Chemical and Biomolecular Engineering 4(4):52-58.
- Mondal, M. 2007. A study of source-sink relation in mungbean. PhD Thesis, Department of Crop Botany, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh, Bangladesh.
- Mulualem, T.; Dessalegn T. and Dessalegn, Y. 2013. Genetic variability, heritability and correlation in some faba bean genotypes (*Vicia faba* L.) grown in northwestern Ethiopia. Int. J. Genet. Mol. Biol., 5: 8-12.
- Mussa, J. and Gemechu, K. 2006. *Vicia faba* L. In: Brink, M. and Belay, G. (eds.). Plant Resources of Tropical Africa 1: Cereals and Pulses. Wageningen, Netherlands/ Backhuys: PROTA Foundation.
- Muratova, V.S. 1931. Common beans (*Vicia faba* L.). Bull. Appl. Bot. Genet. Pl. Breed. Suppl. 50:1–298.
- Nahar, B.; Ikeda, T. 2002. Effect of silver-sheet and Figaron on flower production, abscission of reproductive organs, yield and yield components in soybean (*Glycine max* L.). Journal of Agronomy and Crop Science 188: 193-200.
- Neda, B.; Feyissa, T.; Dagne, K. and Assefa, E. 2021. The Study of morphological characteristics and statistics of the phenotypes and correlation in Faba Bean (*Vicia faba* L.) Germplasm. Plant Breed. Biotech, 9(2):139-163.
- Negahi, A.; Bihamata, M.R.; Negahi, Z. and Aidoust, M. 2014. Evaluation of genetic variation of some agronomical and morphological traits in Iranian and exotic common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultural Communications 2(3): 22-26.
- Nyquist, W. E. 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. Crit. Rev. Plant.Sci.10:235-322.

- Reyes, C. P. 1985. Fitogenética Básica y Aplicada. Primera Edición. AGT-Editores. México. 460 p.
- Raiger, H.L., Yadav, S.K., Arya, R.K. and Phogat, B.S. 2021. Studies on Variability and Character Association for Yield and Yield Related Traits in Faba Bean (*Vicia faba*). Ekin J. 7(2):125-130.
- Sekhon, B.S.; Singh, Y.; Sharma, S.; Verma, A.; Sharma, S. and Vishalakshi. 2017. Genetic variability and Interrelationships of Yield and Yield Components in Faba Bean (*Vicia faba* L.). Indian Journal of Ecology 44(4): 877-882.
- SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (consultado el 12 de febrero de 2025). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singh, K.B. 1990. Prospects of developing new genetic material and breeding methodologies for chickpea improvement. CIHEAM–Options Mediterranean’s 9: 43-50.
- Singh, M. and Ceccarelli, S. 1996. Estimation of heritability of crop traits from variety trial data. Technical Manual International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria, pp: 21.
- Soper, M. 1952. A study of the principal factors affecting the establishment and development of the field bean (*Vicia faba* L.). The Journal of Agricultural Science 42:335-346.
- Stoddard, F. and Bond, D.1987. The pollination requirements of the faba bean. Bee World 68, 144–152.
- Sultana, T. and Ghafoor, A. 2006. Geographical patterns of diversity of cultivated lentil germplasm collected from Pakistan, as assessed buy seed protein assays. Acta. Biol. Cracov. Bot. 48: 77-84.
- Tewodros, T.; Asfaw, A.; Getachew, T.; Kibersew, M. and Samuel, S. 2015. Evaluation of Faba bean (*Vicia faba* L.) varieties against chocolate spot (*Botrytis fabae*) in North Gondar, Ethiopia. African Journal of Agricultural Research 10(30): 2984-2988.

Yüce, İ; Sarikaya, M.F.; Tatar, M.; Kaddour, R.B. and Karaköy, T. 2023. Characterization of some turkish Faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for agromorphological Traits. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 7(1), 116–134.