



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas

Campus Montecillo
POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS
Y PRODUCTIVIDAD-GENÉTICA

CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE POBLACIONES
NATIVAS DE FRIJOL COMÚN DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO,
CULTIVADAS EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ

SAULO TALAMANTES CASTORENA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2013

La presente tesis, titulada: **CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE POBLACIONES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO, CULTIVADAS EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ**, realizada por el alumno: **Saulo Talamantes Castorena**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GENÉTICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. PORFIRIO RAMÍREZ VALLEJO

ASESOR:


DR. FERNANDO CASTILLO GONZÁLEZ

ASESOR:


MC. JULIO ARTURO ESTRADA GÓMEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero de 2013

DEDICATORIA

Al Rey de los siglos, inmortal, invisible, al único y sabio Dios, sea honor y gloria por los siglos de los siglos. Gracias por siempre estar en todas las etapas de mi vida y por nunca dejarme solo

A mi esposa Anna Gabriela Ramírez y mi Hija Hannel Talamantes

A mis padres, Hermanos y toda mi familia

AGRADECIMIENTOS

Al Rey de los siglos, inmortal, invisible, al único y sabio Dios, sea honor y gloria por los siglos de los siglos. Gracias por siempre estar en todas las etapas de mi vida y por nunca dejarme solo.

A mi esposa Anna Gabriela Ramírez Jaime, gracias por siempre estar conmigo, por tu amor, cariño y comprensión, muchísimas gracias por ser parte de este sueño. TAM.

A mi pequeña princesita Hannel Talamantes Ramírez, se que toda vía no sabes lo que pasa, pero quiero que cuando crezcas y leas esto, estés muy orgullosa de tu papito quien te ama muchísimo. Perdón por no estar en tu primer añito de vida.

A mis padres Ismael Talamantes y Raquel Castorena, A quienes me dieron la vida, quienes sin esperar nada, lo dieron todo. A quienes ríen conmigo en mis triunfos y lloran conmigo en los momentos difíciles. A quienes me guían por un camino de rectitud y me enseñan que es lo mejor, los amo.

A mis hermanos Ismael, Devora y Aracely, gracias por sus amor que día a día muestran para con migo. Si se puede.

A mis suegros José Antonio y María Esther, cuñados José Antonio y Ernesto gracias por permitirme ser parte de su gran familia y sé que siempre puedo contar con ustedes.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento económico otorgado para los estudios de maestría.

Al colegio de postgraduados, específicamente al personal del postgrado de Recursos Genéticos y Productividad.

Al Dr. Porfirio Ramírez Vallejo por sus sabios consejos y apoyo incondicional durante el periodo de clases, investigación y escritura de tesis.

Al consejo particular: Dr. Fernando Castillo González, M.C. Julio Arturo Estrada Gómez por su apoyo y sugerencias durante la investigación y revisiones de la tesis.

Al Dr. Tarsicio Corona Torres por fungir como sinodal, gracias por su apoyo.

A la Dra. Magdalena Crossby y sus asistentes por su colaboración en los análisis de fibra cruda, cenizas y materia seca de ejote.

Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SNICS-SAGARPA) por el apoyo para la realización de esta investigación.

A mis compañeros y amigos con quienes e pasado momentos Increíbles los cuales nunca olvidare: Azu, Estely, Lolita, Regina, Sra. Ángeles, Sra. Dalía, Felipe, Hugo, Juan Carlos y Fernando.

Al personal de campo del colegio de postgraduados, quienes me apoyaron en la fase experimental.

CONTENIDO GENERAL

Resumen	x
Summary	xii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
HIPÓTESIS	17
OBJETIVOS	17
BIBLIOGRAFÍA	18
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE POBLACIONES NATIVAS INDETERMINADAS DE FRIJOL CULTIVADAS EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ	23
RESUMEN	23
INTRODUCCIÓN	25
MATERIALES Y MÉTODOS	28
Área de estudio	28
Material genético	28
Diseño y unidad experimental	30
Manejo del experimento	30
Variables estudiadas	30
Análisis estadísticos	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
Diversidad morfológica	32
Agrupamiento de la diversidad	34
CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44

CAPÍTULO III. CONTENIDO DE FIBRA CRUDA, CENIZA, MATERIA SECA Y FIRMEZA DE EJOTE EN POBLACIONES NATIVAS DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO	46
RESUMEN	46
INTRODUCCIÓN	47
MATERIALES Y MÉTODOS	49
Variables evaluadas	51
Cenizas (base seca)	51
Fibra cruda (base seca)	52
Firmeza de ejote	53
Análisis estadísticos	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
Diversidad en características de ejote	57
CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL	64
Diversidad morfológica	65
Agrupamiento de la diversidad	67
Diversidad en características de ejote	68
BIBLIOGRAFÍA	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Hábitos de Crecimiento del Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	5
Cuadro 2	Claves de colecta, origen y nombre común de 50 poblaciones de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación, de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala evaluadas en Montecillo, estado de México en 2010.....	28
Cuadro 3	Intervalos de variación, media, desviación estándar (D.E.) y coeficiente de variación (C.V.) de 50 poblaciones nativas de frijol común evaluadas en Montecillo, estado de México en 2010.....	33
Cuadro 4	Valores y vectores propios del análisis de componentes principales (CP) de 50 poblaciones nativas de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. Del estado de México, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala, evaluadas en Montecillo, estado de México, en 2010.....	35
Cuadro 5	Claves de colecta, origen y nombre común de 48 poblaciones de frijol de hábito indeterminado cultivadas en asociación, de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala evaluadas en Montecillo, estado de México en 2010.....	49
Cuadro 6	Contenido de ceniza y fibra cruda en ejote en porcentaje de cinco grupos poblacionales de frijol común, y coeficientes de variación (%) de cada grupo poblacional, evaluados en Montecillo, 2010.....	54
Cuadro 7	Contenido de cenizas, materia seca, fibra cruda y firmeza de ejote de 48 poblaciones nativas de frijol evaluada en Montecillo, estado de México en 2010.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Dispersión de 50 poblaciones de frijol común con base en los dos primeros componentes principales (52.22%) y nueve características morfológicas. (peso de materia seca total (PMST), número de vainas (NV), peso total de vaina (PTV), Peso total de semillas por planta (PTSP), ancho de vaina (ANC V), ancho de semilla (ANC S), peso de 100 semillas (P100S), volumen de 100 semillas (V100S) y longitud de semilla (LONG S).....	38
Figura 2	Agrupamiento de 50 poblaciones de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i>) del los estados de México (E), Guerrero (G), Oaxaca (O) y Tlaxcala (T), con base a las distancias euclidianas de la combinación de 19 variables morfológicas.....	42
Figura 3	Distribución de la frecuencia de 48 poblaciones nativas de frijol común, del estado de México, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala evaluadas en asociacion con maiz en Montecillo, estado de Mexico en 2010, con base en el contenido de cenizas en ejote.....	58
Figura 4	Distribución de la frecuencia de 48 poblaciones nativas de frijol común, del estado de México, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala evaluadas en asociacion con maiz en Montecillo, estado de Mexico en 2010, con base en el contenido de fibra cruda.....	59
Figura 5	Distribución de 48 poblaciones de frijol común en base al contenido de fibra cruda y firmeza de ejote. Montecillo, 2012.....	60

RESUMEN GENERAL

CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE POBLACIONES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO, CULTIVADAS EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ

Saulo Talamantes Castorena

Colegio de Postgraduados, 2013

México es centro de origen, domesticación y diversificación del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.). Ambas especies han sido importantes desde la época prehispánica, y la diversidad fenotípica y genética de ambos cultivos es conservada en forma de poblaciones nativas cultivadas por los agricultores en la actualidad. En la región centro-sur de México, el sistema de producción “milpa” se practica en la actualidad, con base en una gran diversidad de poblaciones nativas de frijol común de crecimiento indeterminado cultivadas en asociación con maíz en el sistema milpa. La diversidad morfológica y genética ha sido estudiada, resultando amplia variación en formas de planta, vaina y semilla. Sin embargo, el potencial de producción, la calidad bromatológica de estas poblaciones nativas así como su habilidad competitiva no se conocen suficientemente. Esta investigación se desarrolló en dos fases, una para contribuir al conocimiento de la diversidad de características morfológicas de interés agronómico, y otra para evaluar el contenido de fibra cruda, ceniza, materia seca y firmeza de ejote en variedades nativas de frijol común del centro-sur de México. Se caracterizaron 50 poblaciones nativas de frijol común cultivadas en asociación con maíz. Las características agronómicas cuantitativas con mayor variación, se observaron en peso total de vainas con intervalos de (6.40 - 67.93 g), número de vainas (3.00-27.00), peso total de semilla (1.60 - 41.47 g), arquitectura de planta (1.00 - 4.66), peso

de materia seca total (45.00 - 150.33 g) y firmeza de vainas (6.52 - 25.41 N); mientras que la menor variación ocurrió en peso volumétrico de semilla con intervalos de (1.15 - 1.34 gcm⁻³), inicio de floración (87 – 122 d) y distancia de entrenudos (13.26 – 23.03 cm). En ejote la mayor variación se presentó en firmeza, con intervalos de (6.52 – 25.41N) y contenido de cenizas (0.50 – 9.92 %). La menor variación se presentó en contenido de fibra cruda (14.20 – 34.77 %) y materia seca (72.05 – 84.16%). La presente investigación confirma la hipótesis de la presencia de amplia variabilidad en las poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado, en características de planta, vaina y grano; contribuyó al avance en el conocimiento del valor biológico, genético y agronómico de estas poblaciones; e hizo posible identificar poblaciones con potencial agronómico, que pueden ser incorporadas a los programas de mejoramiento, ya sea en forma directa para su aprovechamiento como variedades mejoradas o como progenitores en estos programas, en los que poblaciones de hábito IV han sido poco utilizadas.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, *Zea mayz*, milpa, poblaciones nativas, fibra cruda, ceniza, materia seca, firmeza de ejote.

SUMMARY

CONSERVATION AND USE OF NATIVE BEANRACES IN THE SOUTH CENTRAL MEXICO, GROWN IN ASSOCIATION WITH MAIZE

Mexico is the center of origin, domestication and diversification of beans and maize. Both species have been very important since the prehispanic period. However, diversity and genetics for both crops are conserved as native beanraces grown by farmers. In the south central Mexico, the production system “milpa” is still practiced along with a great diversity of indeterminate native beanraces grown in association with maize in the milpa system. Morphological diversity and genetics have been studied resulting in a wide range of variation such as plant, stringbean and seed form. Nevertheless, crop production potential, bromatological quality of these beanraces and its competition ability has not been well understood. This current research was realized in two different phases: the first phase was done with the purpose of getting more knowledge in terms of morphological features. The second phase was done to evaluate the content of total raw fiber, ash and dry matter and stringbean firmness on the varieties. 50 native beanraces were characterized grown in association with maize. The agronomic quantitative features with greater variation were observed in the total weight of sheath with different intervals (6.40-67.93g), number of sheaths (3.00-27.00), total seed weight (1.60-41.47 g), plant architecture (1.00-4.66), total dry matter (45.00-150.33 g) and sheath firmness (6.52-25.41 N). However, the lower variation was observed in the volumetric seed weight with intervals (1.15-1.34 gcm³), flowering period (87-122d) and length of internodes (13.26-23.03). For the stringbeans, the greater variation was observed in firmness with intervals

of (6.52-25.41 N) and ash content (0.50-9.92%), the lower variation was observed in the total raw content (14.20-34.77%) and dry matter (72.05-84.16%). This current research confirms the hypothesis of the presence of a wide range of variability in native beanraces. On the other hand; plant, stringbean and grain features contributed to a great extent in biological as well as genetic and agronomic value. Furthermore, it is also possible to identify native beanraces with a great agronomic potential that can be incorporated to improvement programs in two different ways: one in direct form for its use as hybrids or parents like form where population of habit IV has been used very little.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, *Zea mayz*, milpa, beanraces, raw fiber, ash, dry matter, stringbean firmness.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

El aprovechamiento y conservación, así como la pérdida de los recursos fitogenéticos, son dependientes de las acciones humanas. La adopción de germoplasma élite y la modificación o destrucción de los centros de variabilidad han contribuido a la erosión de los recursos, de ello surge la necesidad de su conservación (Jaramillo y Baena, 2000). El tipo de germoplasma y los objetivos de la conservación determinan las estrategias que se aplican. El proceso no se limita a la obtención y posesión física del germoplasma, ya que además, se requiere el mantenimiento de la viabilidad e integridad física a través del tiempo. La conservación de germoplasma puede hacerse *in situ* y *ex situ* (Rincón y Hernández, 2000).

Con la finalidad de establecer redes de libre intercambio de recursos fitogenéticos mediante colecciones *ex-situ* en los principales centros de origen de los cultivos agrícolas, se consolidaron centros internacionales de investigación agrícola entre 1940 y 1975, debido a el libre intercambio de recursos fitogenéticos para uso agrícola, que por miles de años ha sido la modalidad de introducción de cultivos en diferentes regiones del mundo (Goedert, 1995).

La FAO postuló que los recursos fitogenéticos eran patrimonio universal en las conferencias de 1981 y 1983. Esta tendencia se modificó en el Convenio de la Diversidad Biológica a principios de la década de 1990, en el que se establece que los recursos están sujetos al control de los Estados. Diversos foros sobre recursos fitogenéticos mostraron el propósito de convertir estos recursos públicos en privados. Muchos de los acuerdos son ambiguos, y dan posibilidad de que los ejecutores en cada

país participen de estos acuerdos en direcciones imprevisibles (Martínez y Aboites, 2000).

La legislación en México contempló a través del plan nacional de desarrollo, propuesto para 1989-1994, que la “planeación y ejecución de las acciones gubernamentales deberían realizarse considerando como premisa básica que los recursos naturales conforman una reserva estratégica fundamental para la soberanía nacional y el desarrollo integral del país”, y se establece el propósito de conservar y usar adecuadamente los recursos naturales. En ese sentido, se elaboraron opciones de manejo de los recursos naturales y los ecosistemas, consolidando el Sistema de Áreas Naturales Protegidas, también se plantearon la diversificación del aprovechamiento fomentando el uso racional de la flora silvestre. Las especies en peligro de extinción se tomaron en cuenta mediante estudios para la conservación y recuperación. El Plan de Desarrollo 1995-2000 plantea que para superar la pobreza, los recursos naturales deben ser aprovechados de manera sustentable, a partir de una reorientación de los patrones de consumo y el cumplimiento de las leyes. No obstante, los términos específicos relativos a los recursos fitogenéticos no fueron claramente definidos (Ramírez *et al.*, 2000).

Origen del Frijol

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas comestibles más importantes debido a su distribución en los cinco continentes e importancia en la dieta alimenticia. También tiene la cualidad de realizar la actividad simbiótica con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (*Rhizobium phaseoli*) y así contribuir a mejorar la fertilidad de los suelos. El origen americano del frijol común se ha establecido con base

en investigaciones arqueológicas, que han permitido ubicar restos en diversos sitios de Estados Unidos, México y Perú. En la región suroeste de los Estados Unidos, en los sitios denominados Basketmaker II, en la Cueva Tularosa y en Snaketown se han encontrado restos cuya antigüedad se remonta a 1500, 2300 y 1000 años, respectivamente, En México los restos arqueológicos de frijol en Rio Zape, Durango, tienen una antigüedad de 1300 años, los de la región de Ocampo, Tamaulipas, fluctúan entre los 4300 y 6000 años, y los de la Cueva de Coxcatlán, situada en el Valle de Tehuacán, Puebla, 7000 años. En el Perú se han encontrado restos con antigüedad de 2000 años en Huaca Prieta, de 2500 años en el Valle de Nazca y ejemplos de frijoles completamente domesticados en la cueva de Guitarrero en el Callejón de Huaylas (Voyset, 1983).

Taxonomía

La especie que es intensamente cultivada desde el trópico hasta las zonas templadas, pertenece a la familia *Leguminosae*, subfamilia *papilionoidae*, Tribu *phaseolae*, subtribu *phaseolinae*, género *phaseolus* y especie *vulgaris* L.

Morfología

Es una planta es anual, herbácea, con crecimiento determinado o indeterminado, su sistema radicular tiene buen desarrollo y se compone de una raíz principal y muchas raíces secundarias ramificadas en la parte superior llegando a la superficie del suelo. Sus tallos son delgados y débiles, de sección cuadrangular y altura variable. La inflorescencia se da en racimos terminales y axiales con pedúnculos erguidos, cada uno puede llevar varias flores, de unas pocas hasta más de 35, sus hojas son alternas

compuestas de tres foliolos con los extremos acuminados, sus frutos o vainas son de tamaño variado, pueden llegar a medir hasta 25 centímetros de largo y sus semillas son oblongas, ovals y su color es muy variado, como también su peso dependiendo de la especie. (CIAT, 1984).

Las variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se pueden clasificar con base en diferentes criterios (Voyset, 1983). Si se considera la forma de consumo, se encuentran variedades para grano seco, o como grano y vaina verde. Desde el punto de vista agronómico generalmente se utilizan características como la duración del periodo vegetativo y se habla de variedades precoces o tardías; si se considera la reacción al fotoperiodo entonces se habla de variedades sensibles, insensibles o neutras; la reacción a ciertos factores limitantes de la producción inmediatamente ubica a las variedades en por lo menos dos grandes categorías: resistentes y susceptibles. Aunque quizás una de las formas más importantes para clasificar a las variedades desde el punto de vista agronómico sea el habito de crecimiento (Cuadro 1), con base en el que se tienen variedades de habito determinado (Tipo I) e indeterminado (Tipos II, III y IV) (Voyset, 2000).

Cuadro 1. Hábitos de Crecimiento del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987)

Tipo	Hábito de Crecimiento	Descripción
I	Determinado arbustivo	la- Tallo y ramas fuertes y erectas
		lb- Tallo y ramas débiles
II	Indeterminado, arbustivo: tallos y ramas Erectas	Ila- Tallo erecto sin guías
		Ilb- Tallo erecto con pequeñas guías
III	Indeterminado, arbustivo postrado (con tallos y ramas débiles de consistencia rastreras)	IIIa- Guías cortas sin habilidad de trepar
		IIIb- Guías largas con habilidad de trepar
IV	Indeterminado trepador (con tallos y ramas débiles, largos y torcidos	IVa-Distribución de vainas uniformemente a lo largo de la planta
		IVb-Distribución de vainas en la parte superior de la planta

El hábito de crecimiento resulta de la interacción entre características que determinan la arquitectura de la planta. Debido a que algunos de estos atributos son afectados por el ambiente, el hábito de crecimiento también puede ser afectado por las condiciones ambientales imperantes durante el desarrollo y crecimiento de la planta (CIAT, 1984). El concepto de hábito de crecimiento no incluye solamente los fenómenos de crecimiento, como los aumentos de volumen y peso de las estructuras de la planta, sino también los fenómenos relativos al desarrollo como los procesos de diferenciación, y cambios estructurales y fisiológicos (CIAT, 1983).

Los principales caracteres morfo-agronómicos que contribuyen a determinar el hábito de crecimiento son: 1. El tipo de desarrollo del tallo, determinado o indeterminado; 2. El número de nudos; 3. La longitud de los entrenudos y, en consecuencia, la altura de la planta, además de la distribución de las longitudes de los entrenudos a lo largo del tallo; 4. La aptitud para trepar: y, 5. El grado y tipo de ramificación. Es necesario incluir el concepto de guía como la parte del tallo y / o de las ramas que sobresalen por encima del follaje del cultivo. Los primeros cuatro caracteres están especialmente relacionados con el tallo, pero es posible tenerlos en cuenta para el caso de las ramas originadas en cualquier nudo. En este sentido se deben revisar los aspectos relativos al grado de ramificación. (CIAT, 1984).

Diversidad genética en frijol

Singh *et al.* (1991) clasificaron seis razas en base a las características morfológicas, agronómicas y bioquímicas, tres originarias de Mesoamérica (M, D, J) y tres de los Andes (C, N, P).

Acervo genético Mesoamericano

Raza Mesoamericana (M). Incluye poblaciones con semillas pequeñas (<25 g/100 semillas), de todos los colores y de todos los hábitos de crecimiento. El tamaño de la hoja y la longitud de entrenudos pueden ser pequeños, intermedios o largos. El grupo se caracteriza por presentar el foliolo terminal oval y corto y bractéolas gruesas ovaladas. El estandarte de las flores presenta marcas rayadas en la base. Las vainas son de 8 a 15 cm de longitud, delgado, fibroso, dehiscentes y con 6 a 8 semillas. Esta raza se encuentra distribuida en tierras bajas tropicales y altitudes intermedias de Mesoamérica, Colombia, Venezuela, y Brasil.

Raza Durango (D). Los cultivares y poblaciones nativas son predominantemente de hábito de crecimiento indeterminado postrado de los tipos III y IV. Se caracterizan por tener hojas relativamente pequeñas a medianas; el tallo, ramas y entrenudos son cortos, y la fructificación se concentra en los nudos basales. Las vainas son de tamaño medio (5 a 8 cm) con cuatro a cinco semillas de forma romboédrica o elíptica y de tamaño medio (25 a 40 g/100 semillas). El color predominante de la semilla es el crema grisáceo o con fondo rosa. El tipo de faseolina es predominantemente “S” y “Sd”. Esta raza está distribuida en las zonas centrales semi-áridas y tierras altas del norte de México y el sureste de Estados Unidos.

Raza Jalisco (J). Esta raza se caracteriza por presentar un hábito de crecimiento indeterminado trepador tipo IV. Las plantas son altas y pueden alcanzar hasta 3 m. de altura. El foliolo terminal de la hoja trifoliada es ovalado y relativamente largo. El tallo y las ramas son débiles y presentan entrenudos largos. La fructificación ocurre principalmente en la parte superior de la planta, aunque pueden presentarse a todo lo largo de ella. Las vainas son de 8 a 15 cm de longitud y tiene de cinco a ocho semillas de tamaño mediano (25 a 45 g/100 semillas), en las que predominan las formas redondas, ovals o ligeramente alargadas. El patrón de faseolina que presenta es de tipo “S”. Su hábitat natural son las tierras húmedas del centro de México y Guatemala, en donde se encuentra su máxima diversidad.

Acervo genético Andino

Raza Chile (C). Esta raza se localiza en los Andes meridionales, es predominantemente de hábito de crecimiento indeterminado tipo III. Posee hojas alargadas, relativamente pequeñas y romboides; entrenudos cortos; vainas de tamaño

medio (5 a 8 cm.) con poca fibra, de tres a cinco semillas por vaina y semillas redondas u ovaladas.

Raza Nueva Granada (N). En esta raza se encuentran variedades con hábito de crecimiento tipo I, II y III, con tamaño de semilla de intermedio a grande (>40 g/100 semillas) en forma de riñón y cilíndricas, las cuales varían de color. Las hojas tienden a ser pubescentes, con folíolos centrales de forma romboide. Los entrenudos son intermedios y largos. Las bractéolas son delgadas, alargadas o lanceoladas. Las vainas secas son fibrosas, duras, de tamaño mediano a grande (10 a 20 cm) y poseen de cuatro a seis semillas. Los cultivares se localizan principalmente en las alturas intermedias de los Andes.

Raza Perú (P). Esta raza se caracteriza por presentar poblaciones con hábito de crecimiento tipo IV. Tiene hojas grandes romboides, entrenudos largos y débiles con semilla de tamaño intermedia a grande. Las vainas son a menudo largas (10 a 20 cm) y duras. La fructificación ocurre a lo largo de todo el tallo o sólo en la parte superior de la planta. Es muy sensible al fotoperiodo y se adapta a temperaturas moderadamente húmedas y frescas.

Importancia del cultivo de Frijol en México

El frijol es importante en la dieta de los mexicanos, ya que se consumen 50 g por persona por día (Lumen, 2000). El grano de frijol destaca por su contenido de proteínas (20 a 28 %), fibras naturales y carbohidratos (Engleman, 1991). Estos factores, además de las múltiples formas de aprovechamiento y usos, así como su amplia adaptación, hacen que el cultivo de frijol sea uno de los de mayor importancia después del maíz (Acosta *et al.*, 2002).

En México, en el 2003, se sembraron 1,828,397 hectáreas, en las que se produjeron 1,414,900 ton. De la superficie cultivada 45 % se localizó en la región Centro-Occidente, 11.5 % en el sureste y sólo 8.7% en el suroeste. De la producción nacional anual 82% se obtiene en el ciclo primavera-verano y 18% en el ciclo otoño-invierno. El consumo per cápita es de 1.1 kg (SIACON, 2005)

El frijol en los sistemas de producción

Entre los sistemas de producción de mayor importancia en México destaca la “milpa”, en el que se asocian variantes de especies de frijol y calabaza, con el maíz como eje del sistema (Kwak *et al.*, 2009).

La asociación maíz-frijol es una forma de cultivo de ambas especies, que se complementan en sus requerimientos ambientales sobre todo en condiciones de temporal. Este sistema de producción ha sufrido un importante disminución a través de los años por la sustitución de sistemas de producción, cultivos y variedades, de tal manera que la evolución de la superficie cultivada con este sistemas fue de 500 mil hectáreas de frijol en asociación, en 1969, a 200 mil en 1977 y tan solo a 50 mil ha en 1996. Las zonas donde se ha practicado la asociación maíz-frijol con variedades nativas son los estados de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Puebla y México (Núñez, 1996). No obstante esta tendencia, en la actualidad el sistema maíz-frijol se observa en extensas áreas del país con presencia de culturas indígenas, en una variedad de condiciones ambientales; aunque no se tiene documentada la superficie cultivada, debido posiblemente a que solo se contabiliza el cultivo de maíz.

La asociación maíz-frijol es un sistema que depende de las prácticas culturales aplicadas como fechas y métodos de siembra, densidades de población de una y otra especie, así como de las variedades de frijol y maíz utilizadas en la asociación (Lépiz,

1978). En México se encuentra una amplia diversidad entre y dentro de especies del género *Phaseolus* empleados como parte del sistema, siendo la especie *Phaseolus vulgaris* L. la de mayor importancia económica, social y biológica. La especie muestra amplia diversidad de formas de planta, de hábitos de crecimiento, color y tamaño de la semilla, que satisfacen las necesidades regionales y resultado del prolongado proceso de domesticación (Lépiz, 1984).

Conservación de los Recursos Fitogenéticos

México es un importante centro de domesticación y diversificación de especies cultivadas con gran importancia global, como por ejemplo el maíz, el frijol, la calabaza y el chile, entre otras especies. Esta diversidad en las especies cultivadas ha sido el resultado de eventos biológicos y de la interacción con el hombre durante cientos de generaciones, ya que las poblaciones humanas han conformado y mantenido la diversidad en función de sus necesidades, intereses, prácticas y conocimientos (Bellon, 2009).

El género *Phaseolus* está compuesto por alrededor de 150 especies, de las cuales 67 son originarias de México (Miranda, 1991). En el caso del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es posible encontrar poblaciones silvestres desde el estado de Chihuahua, en México, hasta el norte de Argentina. Los hallazgos arqueológicos y las evidencias científicas muestran dos centros primarios de domesticación y diversidad genética del frijol común, el mesoamericano y el andino (Debouck, 1985).

Existen varias estrategias de conservación de recursos fitogenéticos, cuya aplicación depende, del tipo de germoplasma y de los objetivos de la conservación. La conservación en sí misma, no se limita únicamente a la recolección y almacenamiento

de materiales, sino que además requiere garantizar la viabilidad del germoplasma a través del tiempo, así como sus características genéticas originales (Jaramillo y Baena, 2000).

Tipos de conservación

Conservación *ex-situ*

Los sistemas de conservación *ex-situ* que surgen como una medida complementaria a los mecanismos de conservación *in-situ*, están orientados principalmente a resguardar el material genético de las especies de importancia para el mejoramiento genético y otros usos y conservar especies vulnerables a procesos de erosión genética. La conservación *ex-situ* se refiere al mantenimiento de los organismos fuera de su hábitat natural, conservando las especies amenazadas y los recursos genéticos en bancos de semillas, bancos genéticos *in-vitro*, colecciones de campo y jardines botánicos. (Hernández y Zarate, 1991).

Conservación por semilla

En las especies que se reproducen por semillas es posible aumentar la longevidad de los materiales conservados, disminuyendo la temperatura y la humedad relativa en el almacenaje (Harrington, 1972). A las semillas que responden adecuadamente a este tratamiento

Conservación *in-vitro*

Debido a las dificultades que presentan las colecciones en campo y para conservar las especies de una manera más adecuada, se ha desarrollado este método de conservación, en el que una parte de la planta (órgano, tejido, célula) se cultiva asépticamente en un medio nutritivo bajo condiciones de luz y temperatura controlada. Entre las ventajas que presenta la conservación *in vitro* destacan el manejo de un gran

número de plantas en espacios reducidos, un mayor control sobre el estado fitosanitario de las colecciones, la reducción de los tiempos de multiplicación, la facilidad de intercambio de material genético y el incremento de la tasa de multiplicación clonal de germoplasma valioso. La desventaja de esta técnica es que requiere de sub-cultivos periódicos, actividad que dificulta en muchos casos su aplicación (Engleman, 1997).

Medidas Preventivas para la Conservación *ex-situ* de los Recursos Fitogenéticos

A medida que disminuye la viabilidad de las muestras conservadas *ex-situ* se pierden tanto genes como genotipos. Incluso en condiciones óptimas de almacenamiento todas las muestras llegan a necesitar una regeneración (FAO, 1996). Para ello es necesario realizar periódicamente el monitoreo de las colecciones conservadas, para determinar la necesidad de realizar una regeneración de las accesiones que no tengan los porcentajes mínimos de germinación recomendados o aceptados para cada especie. Sin la regeneración, se corre el riesgo de perder para siempre gran parte de la diversidad genética almacenada en los recursos fitogenéticos conservados. (Seguel, 2001).

Otro problema identificado, se relaciona con la insuficiencia o deficiencia de datos de pasaporte que acompañan la accesión al ingresar a las facilidades de conservación. Los datos pasaporte se integran con la información registrada al momento de la recolección original de la accesión, nombres, o números asignados después de la recolección, y aquellos datos referentes al registro de las accesiones en el propio banco de germoplasma. La falta de esta información, provoca un uso ineficiente de los recursos y disminuye la posibilidad de utilizar inmediatamente el potencial de la accesión en cuestión (Painting *et al.*, 1993).

Conservación *in-situ*

La conservación *in-situ* se realiza en las áreas en que ocurre naturalmente, procurando mantener la diversidad de los organismos vivos, sus hábitats y las interrelaciones entre los organismos y su ambiente (Spellerberg y Haldes, 1992). Se distinguen tres tipos de conservación *in-situ* (Maxted *et al.*, (1997).

La conservación en terrenos agrícolas, dirigida al mantenimiento de las variedades locales o criollas en los sistemas agrícolas tradicionales. Esta técnica ha sido practicada por los agricultores por miles de años. Permitiendo la conservación de especies vegetales.

La conservación en jardines (home garden), también propone la conservación *in-situ* en zonas agrícolas, pero se refiere a áreas menores, involucrando la conservación de ornamentales, frutales, medicinales, aromáticas, que típicamente se plantan para el uso doméstico y que es llevada adelante mayoritariamente por mujeres.

La conservación de especies silvestres en sitio/s representativos de la diversidad genética, sea en bosques, praderas, etc. Las especies silvestres que se consideran para la conservación *in-situ* son básicamente las arbóreas, las forrajeras, las medicinales, las emparentadas a las cultivadas, las especies en peligro de extinción o emblemáticas para los ecosistemas (Frankel *et al.*, 1995).

Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos

El aprovechamiento de los recursos fitogenéticos es importante por el valor que el hombre les ha conferido, pues a partir de ellos ha aprendido a satisfacer sus necesidades de alimentación y protección, así como a obtener de ellos otros tipos de satisfactores, que le hacen la vida más confortable o que están relacionados con su

vida espiritual. Así, el hombre ha aprendido a aprovechar estos recursos de múltiples maneras, a la vez que le han servido como fuentes de variación genética para la derivación de nuevos cultivos y de cultivares más eficientes y productivos, inicialmente a partir de procesos de selección empíricos realizados por los agricultores y posteriormente a través de programas formales de mejoramiento genético (Castillo y Sánchez, 2000).

El aprovechamiento de los recursos fitogenéticos se remonta a las épocas en que se practicaba la recolección. En esta fase podría decirse que tal aprovechamiento obedecía más a la satisfacción de necesidades primarias que a intereses de otra naturaleza. Con la domesticación e introducción al cultivo, el componente cultural adquiere un papel preponderante (Harlan, 1975).

El aprovechamiento inicial de la diversidad evolucionó hasta constituir cultivos agrícolas bien establecidos, que de acuerdo con algunas estimaciones, abastecían la alimentación de una población humana de 30 millones en el área Mesoamericana a principios del siglo XVI, lo cual maravilló a los conquistadores españoles, pues se encontraron con que recorrían leguas de campos cubiertos con cultivos de maíz. (Clavijero, 1991).

Situación en México en la Conservación y Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos

En México, el programa de recursos fitogenéticos es liderado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). También se han realizado inventarios, como de la Reserva de la Biosfera, en Manantlán, México, que consta de una relación de 2.000 plantas, así como estudios

etnobotánicos y de conservación de *Zea diploperennis* y otras variedades tradicionales de maíz. (Da Fonseca *et al.*, 2006).

En América Central y México, la conservación *in-situ* se realiza, principalmente, en áreas protegidas, existiendo en la región 471 áreas protegidas que cubren aproximadamente 7,6% del territorio total, también existen las áreas denominadas “patrimonio de la humanidad”, las cuales elevan a cerca del 10% el territorio total de áreas protegidas. Sin embargo, estas áreas no están exentas de la ocurrencia de erosión genética, ya que existe una deficiencia en el planeamiento de la explotación de los recursos naturales y una fuerte desarticulación oficial, además del desconocimiento de la riqueza y la potencialidad de los recursos genéticos existentes (Bellon, 2009).

La conservación *ex-situ* es muy crítica (deterioro de las instalaciones, falta de seguimientos a los programas de mejora) en México, América Central y el Caribe. El esfuerzo más significativo lo han realizado los centros internacionales, principalmente el Instituto Internacional de Recursos Fitogenético (IPGRI), el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Internacional de la Papa (CIP), así como por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (Da Fonseca *et al.*, 2006).

Las deficiencias y las limitaciones para la conservación *ex-situ* varían de país a país, existiendo casos de necesidad de instalaciones básicas, como en Panamá, Guatemala y Honduras. Los métodos de conservación en el campo e *in-vitro* son importantes para esta subregión, en vista de que la mayoría de las especies son perennes y/o presentan dificultades para conservación de semillas. Sin embargo, son pocas las instituciones que tienen capacidad e infraestructura para realizar conservación en el campo y principalmente *in-vitro*. Los fitomejoradores, también enfrentan serias limitaciones y en ocasiones no mantienen una documentación de sus colecciones de trabajo, lo cual permite la pérdida de información de materiales colectados (FAO/IPGRI.1997).

HIPÓTESIS

Existe una amplia variación morfológica y agronómica de poblaciones nativas de frijol común, del Estado de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala, adaptadas al cultivo en asociación con maíz “sistema milpa”.

OBJETIVOS

Evaluar el potencial agronómico de 50 poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado de cinco regiones de México cultivadas en asociación con maíz, con base en atributos de planta, ejote y grano, así como de otras características de interés agronómico.

La presente investigación está organizada en cuatro capítulos. El primer capítulo cubre aspectos de diversidad, conservación y aprovechamiento de los recursos fitogenéticos, el segundo aborda la descripción de la diversidad de las 50 poblaciones de frijol de hábito indeterminado, evaluadas en base a las características morfológicas. El tercer capítulo trata sobre el contenido de fibra cruda, ceniza, materia seca y firmeza de ejote de 48 poblaciones nativas. En la discusión general cuarto capítulo se integran los resultados obtenidos en las características morfológicas y contenido de fibra cruda, cenizas, materia seca y firmeza de ejote.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta G, S H Guzmán, G Esquivel E, R Rosales S (2002)** El mejoramiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: avances y perspectivas. *En:* J. M. Martínez R, F. Rincón S., G. Martínez (eds). Memoria del Simposio “El Fitomejoramiento ante los avances científicos y Tecnológicos”. XIX Congreso Nacional de Fitogenética. UAAAN-SOMEFI. Buenavista, Saltillo, Coah. Pp: 20-27.
- Bellon M R (2009)** Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas, en Capital natural de México, vol. II; Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp.355-382.
- Castillo G F, J de J Sánchez G, (2000)** Aprovechamiento de los Recursos Fitogenéticos. *en:* P. Ramírez V., R. Ortega P., A. López H., F. Castillo G., M. Livera M, F. Rincón S. y F. Zavala G. (eds). 2000. Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, México.
- CIAT CO (1983)** Etapas del desarrollo de la planta de frijol común Cali, Colombia. 26p. (Serie 04SB-09.03).
- CIAT CO (1984)** Morfología de la planta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Colombia. 42 p.
- Clavijero F J (1991)** Historia antigua de México. Colección Sepan Cuántos No. 29 9ª edición. Editorial Porrúa. México. 623 p.

- Da Fonseca J A M, S M C A Wetzel, C A Candeira (2006)** El Estado del Arte de los Recursos Genéticos en las Américas: Conservación, Caracterización y Utilización. Brasil, pp.67.
- Debouck D H R (1985)** Morfología de la planta de frijol común; en Marcelino López, Fernando Fernández y Aart van Sochoonhoven (comp), *Frijol: investigación y producción* (pp. 7–41). PNUD/CIAT. Cali, Colombia.
- Engleman M E (1991)** Contribuciones al Conocimiento del Frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 140 p.
- Engleman M E (1997)** *In vitro* conservation methods. In: Biotechnology and Plant genetic Resources Conservation and Use. J Callow; B Ford-Lloyd y H Newbury (Eds.). CAB International, Wallingford, Oxon. p119-161.
- FAO (1996)** Plan de Acción Mundial para la Conservación y la utilización sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura y la Declaración de Leipzig. Cuarta Conferencia Técnica Internacional sobre Recursos Fitogenéticos, Leipzig, Alemania, 17-23 de junio, 64 pp.
- FAO/IPGRI (1997)** Técnicas *in vitro* para la colecta de germoplasma Vegetal. En: Food and Agricultural Organisation of the United Nations. J. Sandoval y M. Villalobos (Eds.) Rome. (In press).
- Frankel O H, A H D Brown, J J Burdon (1995)** The conservation of plant biodiversity. Cambridge University Press. 299 p.
- Goedert C (1995)** Subprograma Recursos Genéticos: Documento marco / Clara Goedert, Andrea Clausen, Juan P. Puignau eds. Montevideo: IICA/PROCISUR, 52 p. ISBN 92-9039-2797.

- Harlan J R (1975)** Crops and Man. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. Madison, Wisconsin. USA: 295 p.
- Harrington J F (1972)** Seed storage and longevity. En: Seed Biology. Vol 3 (T.T. Kozlowsky, ed). Academic Press, Reino Unido. 8p.
- Hernández X E, M A Zárate A (1991)** Agricultura tradicional y conservación de recursos genéticos *in situ*. En: R. Ortega P., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera, M. (eds). Avances en el Estudio de los Recursos Fitogenéticos de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C. 7-28 p.
- Jaramillo S, M Baena (2000)** Material de Apoyo a la Capacitación en la Conservación *Ex Situ* de los Recursos Fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali Colombia. 209 pag.
- Kwak M, J Kami, P Gepts (2009)** The putative Mesoamerican domestication center of *Phaseolus vulgaris* is located in the Lerma-Santiago Basin of Mexico. Crop Sci 49: 554-563. DOI: 10.2135/cropsci2008.07.
- Lépiz I R (1978)** La asociación maíz-frijol y el aprovechamiento de la luz solar. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, centro de Genética. Chapingo, México. 251 p.
- Lépiz I R (1984)** Avances de investigación en sistemas de producción que involucran frijol en México. Germen 2(2): 1-46.
- Lumen B O (1990)** Molecular approaches to improving the nutritional and functional properties of plant seeds as food sources: Developments and comments. J. Agric. Food Chem. 38: 1179-1188.

Martínez G F, G Aboites M (2000) Negociaciones internacionales en torno al acceso y uso sostenible de los recursos genéticos en México en Revista de Geografía Agrícola. Estudios regionales de la agricultura mexicana. Num 30, enero-junio 2000. págs. 71-79. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Centros Regionales. Dirección General de Difusión de la Cultura y Servicio. Chapingo, Estado de México, México.

Maxted N, L. Guarino, M E Dullo (1997) Management and monitoring. In: Maxted, N.; Ford-Lloyd, B.V. and J. G. Hawkes. Plant Genetic Conservation. The in situ approach. Chapman & Hall. pp. 144 – 159.

Miranda C S (1991) Evolución de *P. vulgaris* y *P. coccineus* *In*: E. M. Engleman (ed). Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Pp. 83-99.

Núñez G S (1996) Taller de mejoramiento de frijol para el siglo XXI. Bases para una estrategia para América Latina, Cali, Colombia. 550 p.

Painting K A, M C Perry, R A Denning, W G Ayad (1993) Guía para la Documentación de Recursos Genéticos. Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma. 309 pp.

Ramírez V P, L Barrios C, E Jiménez J, F Zavala G (2000) Entorno de los Recursos Fitogenéticos en México en: Recursos Fitogenéticos para la alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenetica A.C. Chapingo, Estado de México, México. 130 p.

- Rincón S F, J M Hernández C (2000)** Conservación de Recursos Fitogenéticos en México en Recursos Fitogenéticos para la alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, Estado de México, México. 130 p.
- Schoonhoven A, M A Pastor-Corrales (1987)** Standard system for the evolution of bean germoplasm. CIAT, Cali Colombia. 53 p.
- Seguel B I (2001)** Conservación de Recursos Fitogenéticos *ex situ*. Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur". PROCISUR, 2001.
- SIACON (2005)** Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. SAGARPA. México, D. F. <http://www.sagarpa.gob.mx>.
- Singh S P, J A Gutierrez, A Molina, C Urrea, P Gepts (1991)** Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. Crop Science 31:23-29.
- Spellerberg I F, S R Hardes (1992)** Biological Conservation. Cambridge University Press.
- Voyset O (1983)** Variedades de frijol en América Latina y su origen, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia. 87 p.
- Voyset O (2000)** Mejoramiento Genético del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Legado de Variedades de América Latina 1930-1999. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. 195 p.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE POBLACIONES NATIVAS INDETERMINADAS DE FRIJOL CULTIVADAS EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ

RESUMEN

El frijol común *Phaseolus vulgaris* L. tiene amplia diversidad genética en forma de poblaciones nativas, principalmente en sistemas tradicionales de producción como “la milpa”, sin embargo se cuenta con poca información sobre el potencial agronómico de las poblaciones nativas. En esta investigación se estudió la variación en características morfológicas de interés agronómicas de 50 variedades nativas de frijol común de hábito indeterminado. Se evaluaron en asociación con maíz, 23 poblaciones del estado de México, 3 de Morelos, 9 de Oaxaca, 10 de Guerrero y 5 de Tlaxcala, con la finalidad de generar estrategias para optimizar la conservación *in situ* y aprovechamiento de dicha diversidad del frijol común, en base a cinco características de planta, siete de vaina y siete de semilla. La información se analizó con los métodos de componentes principales y de conglomerados. Los dos primeros componentes principales determinaron el 55.22% de la variación total. La mayor variación, en características cuantitativas, se observó en peso total de vainas, número de vainas, peso total de semilla, arquitectura de planta, peso de materia seca total y firmeza de vainas, las que mostraron coeficientes de variación de 39.64 a 54.13 %; mientras que la menor variación fue para peso volumétrico de semilla, inicio de floración y distancia de entrenudos, con coeficientes de variación de 3.30 a 6.31 %. Se encontró una amplia diversidad morfológica en planta, vainas y semillas que hace evidente el valor biológico

de las poblaciones nativas de frijol y la necesidad de preservarlas, estudiarlas y aprovecharlas con el objeto de integrar y desarrollar sistemas de producción complejos más eficientes y productivos.

Palabras claves: *Phaseolus vulgaris* L., diversidad, poblaciones nativas, milpa, componentes principales.

INTRODUCCIÓN

La agricultura tradicional se caracteriza por aprovechar varias especies vegetales y sus cultivares para diferentes usos en México (Rincón y Hernández, 2000), y se ha practicado y mejorado por muchas generaciones hasta llegar a los actuales procesos de producción (Tuxil y Nabhan, 2001). En la agricultura tradicional se cultivan plantas medicinales, ornamentales, especias, materiales de construcción, leña y cultivos comerciales, además de frutos, cereales y hortalizas para la alimentación (Clawson, 1985). Los sistemas agrícolas tradicionales representan una alternativa a la conservación *in situ* de los recursos fitogenéticos, debido a que se sustentan en la producción y mantenimiento de la diversidad biológica y genética. Estos sistemas de producción deben satisfacer las necesidades alimenticias de los agricultores y ser una fuente de ingresos por la venta de los excedentes (Altieri y Merrick, 1987). La agricultura tradicional transmitida oralmente y por demostración entre agricultores, en la familia y/o comunidad se enriquece con la experimentación y modificación de prácticas, implementos, semillas y calendarios conservando los aspectos exitosos. Uno de los sistemas tradicionales de mayor cobertura en México es “la milpa”, que es practicado mayormente por grupos indígenas y es el principal sostén de la economía campesina y ha enriquecido la biodiversidad agrícola, en muchas regiones del país con variadas condiciones climáticas, el frijol tiene un papel preponderante junto con el maíz y la calabaza en los sistemas de producción tradicionales (Kwak *et al.*, 2009). En estos sistemas las poblaciones nativas de frijol se caracterizan por ser heterogéneas, mayormente de hábito indeterminado trepador (Tipo IV), ciclos de crecimiento largos y alto potencial de rendimiento. En las regiones donde se cultivan estas poblaciones

predominan las culturas indígenas, las que conservan un amplio conocimiento de los componentes y manejo de los sistemas tradicionales, que por sus características agronómicas y biológicas requieren diversidad genética y morfológica entre y dentro de las especies asociadas (Lepiz, 1974). A pesar del valor agronómico, biológico, ecológico, económico y social del germoplasma las poblaciones nativas de frijol están siendo substituidas con la consecuente pérdida de diversidad. La capacidad de producción y el valor agronómico actual del germoplasma bajo estos sistemas de producción, así como las relaciones genéticas entre poblaciones de diferentes orígenes regionales no han sido caracterizados con suficiencia (Bellon, 2009). Además se desconoce el grado de variación y diversidad de las poblaciones nativas mexicanas de hábito indeterminado trepadoras y su potencial genético y agronómico. La amplia diversidad que se observa en estas poblaciones nativas podría estar influenciada por el intercambio de semilla entre productores, la utilización de las poblaciones en los diferentes sistemas de producción regionales, las preferencias regionales y la diversidad ecológica de estas regiones (Gepts y Debouck, 1991).

Aunque los estudios sobre la diversidad del frijol en México han sido enfocados a la clasificación de especies (Delgado *et al.*, 2004), el interés para profundizar en el conocimiento de la diversidad morfológica, agronómica y genética de *P. vulgaris* se ha incrementado en años recientes. (Avendaño *et al.*, 2004) con base en marcadores isoenzimáticos encontraron patrones de variación alélica en poblaciones de frijol común tipo negro de diferentes regiones de México y la mayor diversidad genética en germoplasma de los estados de Hidalgo, México, Puebla y Veracruz; (Castillo *et al.*, 2006) y (Rocandio *et al.*, 2009) estudiaron la diversidad morfológica de poblaciones de frijol común de hábito indeterminado en la región oriental del estado de México, y

encontraron amplia variación en hábitos de crecimiento, tamaño, color y variegado de la semilla, con una mayor proporción de poblaciones de hábito indeterminado, enredadoras con capacidad para trepar; además, que los nombres regionales están asociados con las características de la semilla. En esta región, así como en otras áreas en que se cultiva el frijol en sistemas asociados tradicionales, se observa la disminución de la superficie cultivada, ya que como lo mostraron (Castillo *et al.*, 2006) sólo 6.6% de los hogares en Ayapango, estado de México cultivaban frijol; no obstante, (Rocandio *et al.*, 2009) indicaron que se encuentran unidades de producción cultivadas con la asociación maíz-frijol en diversas regiones de México. En la actualidad, esta situación ha permitido que la variación genética del frijol se conserve y sea una fuente dinámica de variabilidad con la que se conserva y mantiene la riqueza genética de la especie y en particular de este tipo de poblaciones nativas.

Con la finalidad de generar estrategias que permitan optimizar la conservación *in situ* de diferentes especies cultivadas de *Phaseolus*, es necesario estudiar la diversidad morfológica inter e intra específica, con este objetivo (Castillo *et al.*, 2006) evaluaron la amplitud de la variación morfológica de *P. vulgaris* y *P. coccineus* en el oriente del estado de México y norte del estado de Morelos, y encontraron los intervalos de variación mayores en longitud de vainas, peso de 100 semillas y días a floración, y la menor variación en características de semilla (longitud, ancho y grosor), y (Rocandio *et al.*, 2009) estudiaron la diversidad morfológica y agronómica de poblaciones de *P. vulgaris* y *P. coccineus* del Estado de México y Oaxaca, y encontraron variación mayor en el número de vainas por planta, peso de semilla por planta y peso de materia seca por planta (C.V.=31 a 41 %), y la menor variación (CV= 2.89 a 4.49 %) en características de semilla.

Con base en estos antecedentes se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar la diversidad morfológica presente en 50 poblaciones nativas de frijol común de hábitos indeterminados, provenientes de cinco regiones de México y cultivados en asociación con maíz, con base en atributos de planta, vaina y grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El experimento se estableció en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, localizado en el municipio de Texcoco, estado de México, cuya localización geográfica es 19° 27' 38" de latitud norte, 98° 54' 11" de longitud oeste y 2250 m de altitud.

Material genético

Un grupo de 50 poblaciones nativas de frijol común colectadas directamente de agricultores en los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala fueron evaluadas en 2010. Las poblaciones fueron seleccionadas con base en la localidad de origen y agricultor donante, así como por sanidad y tipo de semilla (Cuadro 2).

Cuadro 2. Claves de colecta, origen y nombre común de 50 poblaciones de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación, de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala evaluadas en Montecillo, estado de México en 2010.

Identificación	Clave	Localidad de origen	Entidad	Nombre Común
EM-10-1	E1	Cuecucuautilta (El Pueblito).	Estado de México	Rojo o Vaquita
EM-10-6	E6	Atlatlahuacan	Morelos	Colado
EM-10-10	E10	Nepantla.	Estado de México	Vaquita
EM-10-12	E12	Totolapa	Morelos	Apetito
EM-10-13	E13	Totolapa	Morelos	Cacahuate
EM-10-14	E14	San José Tlacotitlan	Estado de México	Amarillo
EM-10-15	E15	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita

EM-10-17	E17	San Andres Tlalamac	Estado de México	Garrapato
EM-10-21	E21	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Color de Rosita
EM-10-23	E23	Cuijingo	Estado de México	Coconita
EM-10-24	E24	Nepantla	Estado de México	Flor de Mayo
EM-10-25	E25	San Andres Tlalamac	Estado de México	Vaquita
EM-10-26	E26	San Andres Tlalamac	Estado de México	Torito
EM-10-27	E27	San Andres Tlalamac	Estado de México	Garrapato o Morito
EM-10-31	E31	Nepantla	Estado de México	Vaca
EM-10-32	E32	San José Tlacotitlan	Estado de México	Negro Bola
EM-10-34	E34	Atlautla	Estado de México	Amarillo
EM-10-36	E36	San Andres Tlalamac	Estado de México	Amarillo
EM-10-37	E37	San Andres Tlalamac	Estado de México	Apetito
EM-10-38	E38	San Lorenzo Tlaltecoyac	Estado de México	Negro Bola
EM-10-39	E39	Juchitepec	Estado de México	Color de Rosa
EM-10-40	E40	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Cabeza de Ahuate
EM-10-41	E41	Tepetlixpa	Estado de México	Rojo
EM-10-42	E42	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
EM-10-43	E43	San Mateo Tecalco	Estado de México	Frijol Negro
EM-10-45	E45	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Alubia o Novia
OAX-10-9	O9	Chamizal	Oaxaca	Negro Ejotero
OAX-10-28	O28	Barrio San Sebastian Tlaxiaco	Oaxaca	Frijol Colorado
OAX-10-29	O29	Santa Lucrecia.	Oaxaca	Frijol Tempranero
OAX-10-36	O36	San Martin Huamelulpan	Oaxaca	Tempranero Blanco
OAX-10-39	O39	San Pedro Molinos	Oaxaca	Frijol de Ejote
OAX-10-42	O42	Santa Maria Tataltepec	Oaxaca	Negro o Frijol Grueso
OAX-10-45	O45	Haquiniyiqui	Oaxaca	Negro Ayocote
OAX-10-46	O46	Haquiniyiqui	Oaxaca	Cuarenteño
OAX-10-51	O51	San Isidro	Oaxaca	Amarillo
GRO-10-87	G87	Almolonga	Guerrero	Frijol Rojo
GRO-10-94	G94	Chilacachapa	Guerrero	Pintito de Vara
GRO-10-96	G96	Zoquiapan	Guerrero	Frijol negro de Vara
GRO-10-97	G97	Zoquiapan	Guerrero	Negro de Vara o Milpa
GRO-10-99	G99	Santa Ana	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-103	G103	El Refugio	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-118	G118	Las Trancas	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-120	G120	Las Trancas	Guerrero	Rojo de Cascara Dura
GRO-10-129	G129	Zompepelco	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-137	G137	El Nuevo Paraíso	Guerrero	Frijol Blanco Enredador
TLA-10-1	T1	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
TLA-10-2	T2	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Vaquita
TLA-10-3	T3	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Moradito o Morita
TLA-10-4	T4	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
TLA-10-5	T5	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Pinto

Diseño y unidad experimental

Las 50 poblaciones nativas evaluadas se distribuyeron con base en un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de anchura.

Manejo del experimento

El experimento se estableció el 13 de mayo de 2010. La siembra se realizó en seco, colocando 2 semillas de frijol y 3 semillas de maíz cada 0.8 m. El número de plantas se ajustó a 7 de frijol y 14 de maíz por cada surco de 5 m, después del aporque, para obtener una población de 37 500 plantas por hectárea, 12 500 de frijol y 25 000 de maíz. Se aplicó riego rodado complementario a la lluvia, durante el periodo de la siembra al llenado de vainas. El control de malezas se realizó manualmente, y el cultivo y aporque se realizaron con tracción animal. La incidencia de picudo de frijol (*Apion godmani*) y de conchuela (*Epilachna varivestis*) se controló con dos aplicaciones de Sevin 80 PH (I.A.. Carbaril: 1-Naftil metilcarbamato) en dosis de 1.0 kg ha⁻¹, durante el llenado de vaina. En la etapa de formación y llenado de vaina, entre el 4 y 6 de noviembre, ocurrieron heladas que dañaron severamente a las plantas, y que afectaron con mayor intensidad a las poblaciones más tardías. La cosecha se realizó en 5 plantas con competencia completa, en matas con maíz y frijol.

VARIABLES ESTUDIADAS

Semilla. En las colectas originales se evaluaron longitud (LON S) (cm), anchura (ANC S) (cm), grosor (GRO S) (cm), peso de 100 semillas (P100S) (g), volumen de 100 semillas (V100S) y peso volumétrico (PVS) (g/cm³). De cada población se tomaron 10

muestras con 100 semillas representativas de la población. La longitud, anchura y grosor se midieron en grupos de 100 semillas de las que se obtuvo el promedio. El peso y volumen se obtuvieron por muestra individual.

Inicio de floración (IF). Se registró en días, cuando 50 % de las plantas presentaron al menos una flor abierta, en las 3 repeticiones.

Sanidad general (SND). Se registró con base en la presencia de conchuela y antracnosis, con la escala siguiente: (1) ausencia de daño; (2) inicio de daño; (3) daño en 40% de la planta; (4) daño en 80% en la planta; y (5) daño cercano a 100%.

Arquitectura de planta (ARQ P). Se registró en las 3 repeticiones. Se calificó con base en la escala siguiente: 1. Vainas a lo largo de la planta, desde la base hasta la parte apical de la planta, sin mucho follaje; 2. Plantas con vainas sólo en la parte inferior de la planta; 3. Vainas en la parte superior de la planta; 4. Vainas en la parte media de la planta, con abundante follaje; y 5. Vainas en la parte superior de la planta con follaje abundante.

Distancia de entrenudos (DN) (cm). Se midió cuando la planta estaba en formación de vainas, se tomaron cinco medidas de la parte media de la planta con una regla de 30 cm, en cada parcela y se calculó el promedio por parcela.

Vaina. Se registraron la longitud (LON V) (cm), la anchura (ANC V) (cm), el grosor (GRO V) (cm) y número de semillas por vaina (SXV). Estos atributos se registraron en estado de ejote verde, en 3 de 10 vainas seleccionadas. La firmeza (FIR V) se midió con un penetrómetro (FORCE FIVE Modelo FDV-30) en 3 vainas por parcela, registrando la resistencia de la piel de la vaina a la punción (Newton).

Rendimiento y sus componentes. Se disectaron 5 plantas por parcela en las que se determinó materia seca total de tallo y vaina, peso de vaina y peso de grano, en

algunas parcelas no fue posible obtener el rendimiento debido al daño sufrido en las vainas por las fuertes heladas registradas en el mes de noviembre durante la etapa de formación y llenado de vaina.

Análisis estadístico

Las características se analizaron con base en el modelo de bloques completos al azar con tres repeticiones. Además, se realizó un análisis de componentes principales **(ACP)** con base en la matriz de correlaciones de los promedios de las características cuantitativas y se graficó la distribución de las poblaciones con base en los dos primeros componentes principales. Las relaciones entre las 50 variedades nativas de frijol común, se establecieron con base en un análisis de conglomerados con datos estandarizados a la distribución normal (0, 1), en el que las distancias euclidianas se emplearon como coeficientes de disimilitud, la agrupación jerárquica se obtuvo con el método de ligamiento promedio (UPMGA). Los análisis se realizaron con los paquetes estadísticos SAS v. 9.0 (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad morfológica

La variación observada en las poblaciones de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala fue amplia. La mayor variación, en características cuantitativas agronómicas, se observó en peso total de vainas, número de vainas, peso total de semilla fértil, arquitectura de planta, peso de materia seca total y firmeza de vainas, que presentaron coeficientes de variación de 39.64 a 54.13 % ; la menor

variación se encontró en el peso volumétrico de semilla, inicio de floración y distancia de entrenudos, características que presentaron coeficientes de variación en el intervalo de 3.30 a 6.31 % (Cuadro 3).

Los intervalos de variación encontrados en el presente trabajo en longitud y anchura de vainas, y número de semillas por vaina fueron menores a los encontrados por Castillo *et al.* (2006) y Rocandio *et al.* (2009); en contraste, los intervalos de inicio de floración, longitud de semilla, ancho de semilla, grosor de semilla y peso de 100 semillas fueron mayores a los encontrados en estudios anteriores.

Cuadro 3. Intervalos de variación, media, desviación estándar (D.E.) y coeficiente de variación (C.V.) de 50 poblaciones nativas de frijol común evaluadas en Montecillo, estado de México en 2010.

Característica	Intervalo	Media	D.E.	C.V.
Peso de Materia Seca Total (g)	45.00 - 150.33	89.34	42.70	46.76
Numero de Vainas	3.00- 27.00	13.02	7.99	52.39
Peso Total de Vainas (g)	6.40 - 67.93	24.72	16.11	54.13
Peso Total de Semillas (g)	1.60 - 41.47	13.59	9.91	51.64
Inicio de Floración (d)	87 – 122	112.74	11.10	5.77
Sanidad de Planta	1.00 - 1.83	1.27	0.42	33.51
Arquitectura de Planta	1.00 - 4.66	2.45	1.48	47.84
Distancia Entre Nudos (cm)	13.26 – 23.03	18.81	2.11	6.31
Longitud de Vainas (cm)	7.77 – 13.61	11.35	3.01	15.40
Anchura de Vainas (cm)	0.58 – 1.47	9.62	2.72	14.72
Grosor de Vainas (cm)	0.35 – 0.77	4.95	1.55	19.84
Semillas por Vaina	4.00 - 7.67	6.08	1.73	17.91
Firmeza de Vaina (Newton)	6.52 - 25.41	12.32	6.61	39.64
Longitud de Semilla (cm)	0.97 - 1.70	1.31	0.19	14.97
Anchura de Semilla (cm)	0.61 - 1.11	0.87	0.13	15.60
Grosor de Semilla (cm)	0.46 - 0.73	0.60	0.07	11.93
Peso de 100 Semillas (g)	22.40 - 68.30	39.90	10.83	25.90
Volumen de 100 Semillas (cm ³)	16.90 - 55.00	32.18	8.38	25.40
Peso Volumétrico Semilla (gcm ⁻³)	1.15 - 1.34	1.24	0.04	3.30

La duración del ciclo biológico fue importante en la determinación del grado de daño por las heladas ocurridas durante las etapas de formación y llenado de vaina. En este

estudio las variedades de ciclo menos tardío presentaron menor daño por las bajas temperaturas, aun cuando las heladas se presentaron en madurez fisiológica. Las poblaciones nativas de Tlaxcala fueron las más precoces con un promedio de 101 d seguidas de las de Oaxaca (112 d), y el estado de México y Morelos (115 d), en contraste con las poblaciones de Guerrero que resultaron ser las más tardías (116 d). En consecuencia, las poblaciones de Tlaxcala y Oaxaca presentaron mayor número de vainas, (17 y 14, respectivamente), mayor peso de vainas (37.00g y 25.00g, respectivamente) y peso total de semilla (24.00g y 14.00g, respectivamente). Estos resultados son consecuencia de la adaptación diferencial de las poblaciones a las condiciones del sitio de evaluación e indican la importancia de la precocidad aun en este tipo de poblaciones, ya que esta característica permite a las poblaciones escapar de las condiciones ambientales restrictivas para el crecimiento y desarrollo, como las bajas temperaturas y falta de agua durante las etapas en que se define el rendimiento.

Agrupamiento de la diversidad

El análisis de componentes principales (CP) se realizó con 19 variables de planta, vaina y semilla. Los primeros cinco componentes explicaron 78.03 % de la variación total. En el primer componente (CP1) las características con mayor contribución a la explicación de la variación fueron peso de materia seca total (PMST), número de vainas (NV), peso total de vaina (PTV), peso total de semillas por planta (PTSP), ancho de vaina (ANC V) y ancho de semilla (ANC S) y en el segundo componente (CP2) fueron peso de 100 semillas (P100S), volumen de 100 semillas (V100S) y longitud de semilla (LONG S) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores y vectores propios del análisis de componentes principales (CP) de 50 poblaciones nativas de *Phaseous vulgaris* L. Del estado de México, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala, evaluadas en Montecillo, estado de México, en 2010.

Características	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Peso de Materia Seca Total	0.315	-0.072	0.109	0.307	0.015
Numero de Vainas	0.276	-0.266	-0.129	0.289	-0.057
Peso Total de Vainas	0.286	-0.241	-0.186	0.285	-0.051
Peso Total de Semillas	0.284	-0.204	-0.273	0.225	0.022
Inicio de Floración	-0.043	0.095	0.524	-0.006	-0.374
Sanidad de Planta	0.059	-0.000	-0.041	-0.182	0.747
Arquitectura de Planta	0.111	0.088	0.221	0.470	0.023
Distancia Entre Nudos	-0.056	-0.037	0.177	0.132	0.430
Longitud de Vainas	0.251	-0.192	0.418	-0.176	0.065
Anchura de Vainas	0.345	-0.030	0.053	-0.254	-0.036
Grosor de Vainas	0.268	-0.216	0.028	-0.369	0.065
Semillas por Vaina	0.217	-0.218	0.392	-0.109	-0.029
Firmeza de Vaina	0.234	-0.120	-0.177	-0.251	-0.186
Longitud de Semilla	0.220	0.330	0.223	0.090	0.173
Anchura de Semilla	0.281	0.350	-0.093	-0.006	0.030
Grosor de Semilla	0.166	0.228	-0.281	-0.218	-0.170
Peso de 100 Semillas	0.252	0.404	-0.016	-0.026	-0.013
Volumen de 100 Semillas	0.257	0.382	-0.020	-0.052	-0.024
Peso Volumétrico Semilla	-0.010	0.251	-0.001	0.223	0.041
Valor propio	6.588	3.333	1.926	1.754	1.222
Variación explicada (%)	34.68	17.55	10.14	9.24	6.43
Variación acumulada (%)	34.68	52.22	62.36	71.6	78.03

La dispersión de las poblaciones en el plano formado por los dos primeros componentes principales (Figura 1) y la distribución de las poblaciones en el dendograma derivado del análisis de conglomerados (Figura 2) muestra que las poblaciones nativas se integraron en seis y ocho grupos respectivamente.

En la representación gráfica de los componentes principales destacan dos gradientes. En el eje correspondiente al componente 1 en dirección de izquierda a derecha se presenta un arreglo de menor a mayor de las poblaciones en relación con su rendimiento, en tanto que en el eje correspondiente al componente 2 en dirección de

abajo hacia arriba se observa un gradiente de menor a mayor en relación con el tamaño de la semilla. De esta manera las poblaciones nativas de mayor rendimiento correspondieron a las de los estados de México, Tlaxcala y Morelos, las de menor rendimiento y menor adaptación a las de Oaxaca y Guerrero. En tanto que las poblaciones nativas con mayor tamaño de semilla fueron las de los estados de México, Tlaxcala y Morelos, y las de menor tamaño a las poblaciones de Guerrero y Oaxaca.

El grupo 1 se localizó en los cuadrantes I, II y IV y se integró mayormente con veinte poblaciones nativas procedentes del estado de México y Morelos, y una población de Tlaxcala, Este grupo se caracterizó por peso de materia seca total (93.26 g), número de vainas (11), peso total de vaina (20.12g), peso total de semilla por planta (10.97g), ancho de vaina (1.03cm), ancho de semilla (0.93cm), peso de 100 semillas (49.11g), volumen de 100 semillas (38.21cm³) y longitud de semilla (1.43cm). Estas poblaciones forman el grupo con menor número de vainas por planta y, por consiguiente, menor peso de vainas y peso de semillas por planta.

En el cuadrante IV se encuentra el grupo 2 (Figura 1), que se integró con tres poblaciones de Tlaxcala y cuatro del Estado de México. Este grupo se caracterizó por peso de materia seca total de 114.28 g, número de vainas de 19, peso total de vaina de 36.70g, peso total de semilla por planta de 23.48g, ancho de vaina de 1.06cm, ancho de semilla de 0.88cm, peso de 100 semillas de 42.77g, volumen de 100 semillas de 33.03 cm³ y longitud de semilla de 1.38cm. Este grupo ocupa el segundo lugar en relación a los otros por su mayor peso de materia seca total y número de vainas por planta.

El grupo 3 (Figura 1) se ubicó mayormente en el cuadrante III, se integró con poblaciones de Guerrero y Oaxaca, diferenciándose y separándose de las poblaciones de los estados de México y Tlaxcala. Las características morfológicas de este grupo

fueron peso de materia seca total (81.20 g), número de vainas (13), peso total de vaina (23.72g), peso total de semilla por planta (11.94g), ancho de vaina (0.92cm), ancho de semilla (0.70cm), peso de 100 semillas (32.11g), volumen de 100 semillas (25.95 cm³) y longitud de semilla (1.16cm). Este grupo integró poblaciones con el menor peso de materia seca total, ancho de vaina, longitud de semilla, ancho de semilla y peso de 100 semillas.

En el cuadrante I se encuentra el grupo 4 (Figura 1), que se integró con dos poblaciones del Estado de México y presentó las características morfológicas siguientes: peso de materia seca total (114.77 g), número de vainas (20), peso total de vaina (41.10g), peso total de semilla por planta (24.83g), ancho de vaina (1.35cm), ancho de semilla (1.09cm), peso de 100 semillas (66.95g), volumen de 100 semillas (53.80 cm³) y longitud de semilla (1.55cm). Este grupo es el mejor en cada una de las características mencionadas.

El grupo 5 (Figura 1) que se encuentra en el cuadrante II se integró con las dos poblaciones más susceptibles a las bajas de temperaturas (heladas) que se presentaron los días 3, 4 y 5 de septiembre de 2010, durante el periodo de formación y llenado de grano, por lo que no se tuvo información sobre el peso de materia seca total, número de vainas, peso total de vaina, peso total de semilla por planta y ancho de vaina. La sensibilidad de la respuesta de estas poblaciones al sitio de evaluación jugó un importante papel en su comportamiento general.

En la parte inferior del cuadrante IV se encuentra el grupo 6 (Figura 1), integrado por la población T5 procedente de Tlaxcala, que se distingue por un peso de materia seca total de 150.33 g, número de vainas de 27, peso total de vaina de 67.93g, peso total de semilla por planta de 41.47g, ancho de vaina de 1.22cm, ancho de semilla de 0.92cm,

peso de 100 semillas de 40.00g, volumen de 100 semillas de 34.70 cm³ y longitud de semilla de 1.26cm. Esta población resultó la mejor de las 50 en número de vainas por planta, peso total de vainas y peso total de semillas por planta, lo que indica mayor tasa reproductiva y adaptación al sitio de evaluación.

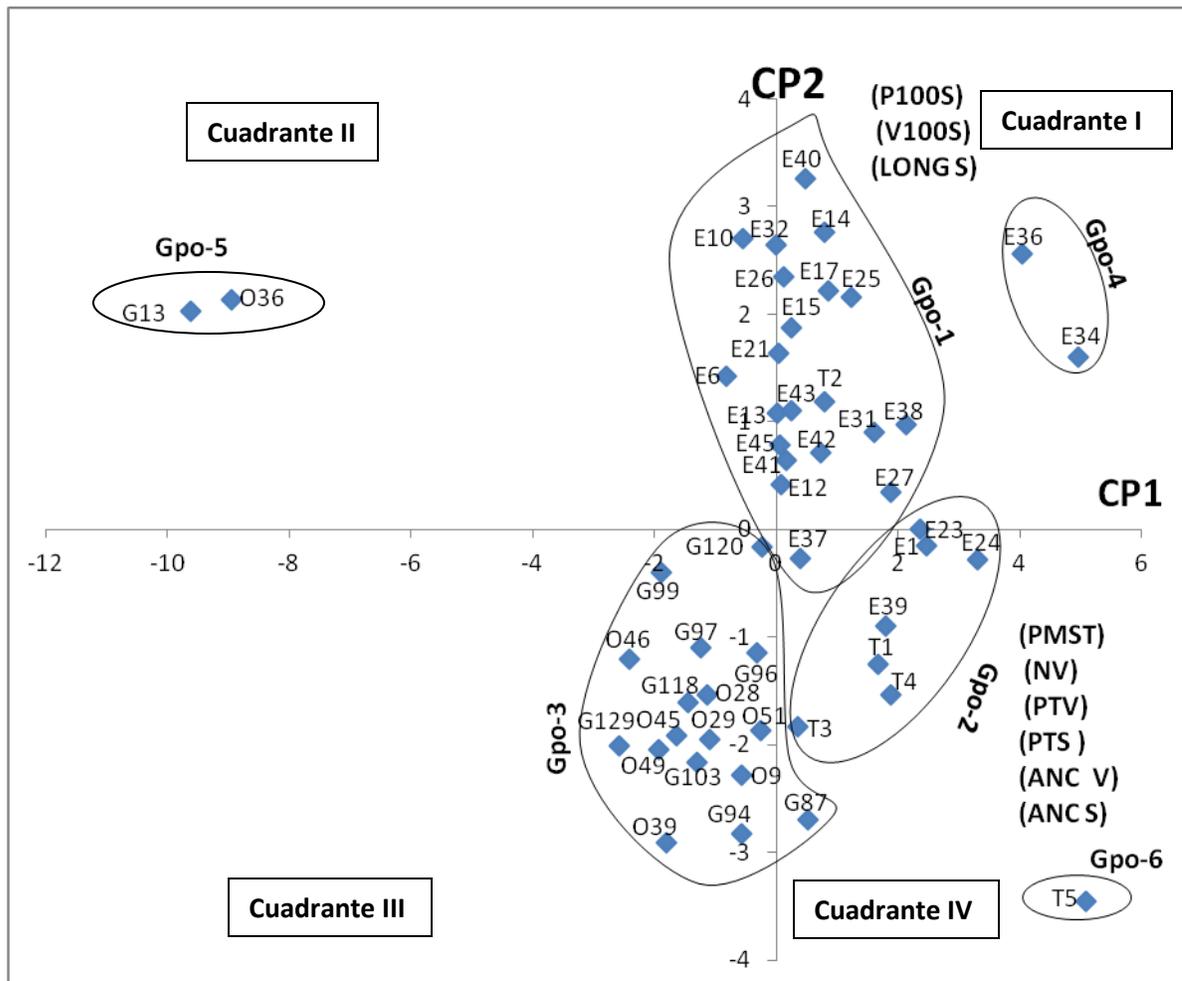


Figura 1. Dispersión de 50 poblaciones de frijol común con base en los dos primeros componentes principales (52.22%) y nueve características morfológicas. (peso de materia seca total (PMST), número de vainas (NV), peso total de vaina (PTV), Peso total de semillas por planta (PTSP), ancho de vaina (ANC V), ancho de semilla (ANC S), peso de 100 semillas (P100S), volumen de 100 semillas (V100S) y longitud de semilla (LONG S).

En el análisis de componentes principales los dos primeros componentes explicaron 52.22% de la variación total y 78.03 % se explicó con los primeros cinco componentes (Cuadro 4). La variación acumulada (55.62%) en los dos primeros componentes es similar al estudio con 78 poblaciones nativas de frijol común de Castillo *et al.* (2006) y ligeramente menor a la encontrada por Rocandio *et al.* (2009) en 94 poblaciones nativas de frijol común (60 %). Los resultados de este estudio confirman los hallazgos de estudios anteriores en relación con el alto grado de variación y diversidad morfológicas que se encuentran en las poblaciones nativas indeterminadas, independientemente del conjunto de poblaciones evaluadas.

En el número de características de mayor contribución a la variación total (9), los resultados fueron similares a los de, (Castillo *et al.*, 2006) y (Rocandio *et al.*, 2009); en cuanto a las características relevantes, éstas corresponden a los órganos reproductivos y a las morfológicas asociadas con la acumulación de materia seca y el rendimiento (Componente 1), de la semilla (Componente 2) y precocidad (Componente 3), tanto en los estudios anteriores como en el presente. Las poblaciones mostraron amplia diversidad morfológica, ya que se distribuyeron en los cuatro cuadrantes, aunque la mayor concentración ocurrió en los cuadrantes I, II y IV. El grupo poblacional con mayor diversidad morfológica se integró con poblaciones de los Estados de México, Morelos y Tlaxcala (Grupo 1), ubicándose en los cuadrantes I, II y IV. El grupo con poblaciones de Guerrero y Oaxaca se localizó mayormente en cuadrante III. Se observa similitud de la presente investigación con Castillo *et al.* (2006) y Rocandio *et al.* (2009) en los aspectos relativos a la distribución de las poblaciones con base en los dos componentes principales, con una dispersión continua, y la distribución de las poblaciones a lo largo

y ancho de la figura debido principalmente a la variación en morfología, precocidad y tamaño de la semilla.

En el análisis de conglomerados (Figura 2), se formaron ocho grupos a la distancia euclidiana de 0.82, dos más que los obtenidos con el análisis de componentes principales. En este análisis la población E1 (Estado de México) constituyó el Grupo1, la población se separó de las otras por su alta calificación de la arquitectura de planta (4), debido a que esta población produce gran cantidad de follaje que compite fuertemente con el maíz, además tiene el mayor número de semillas en vaina (7.67). El grupo 2, integrado con 18 poblaciones (17 de los estados de México y Morelos, y 1 de Tlaxcala), comprende las poblaciones más tardías (117 d), la menor anchura de semilla (0.93cm) y el mayor peso volumétrico ($1.34\text{g}/\text{cm}^3$). El grupo 3 se formó con 3 poblaciones del Estado de México, que presentaron los menores números de vainas (6), peso total de vainas (12.76g), peso total de semillas por planta (6.49g) y firmeza de vainas (10.13N); y mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades (calificación de 1.7), distancia de entrenudos (19.30cm), longitud de vaina (12.61cm) y longitud de semilla (1.70cm). El grupo 4 se integró con 3 poblaciones del Estado de México y 3 poblaciones de Tlaxcala, que fueron las poblaciones de mayor precocidad (IF=103 d), también presentó los promedios más altos en peso de materia seca total (105.40g), grosor de vaina (0.60cm) y número de semillas por vaina (7). El grupo 5 se integró con 8 poblaciones de Oaxaca y 9 de Guerrero. Este grupo presentó los promedios más bajos en peso de materia seca total (81.20g), ancho de vaina (0.92cm), longitud de semilla (1.16 cm), grosor de semilla (0.53cm), peso de 100 semillas (32.11g), volumen de 100 semilla (25.95 cm^3) y peso volumétrico de semillas ($1.240\text{g}/\text{cm}^3$), este agrupamiento separa claramente las poblaciones de los estados Oaxaca y Guerrero de las provenientes de Tlaxcala y

estado de México, con una amplia correspondencia con el grupo 3 del análisis de componentes principales. El grupo 6 se integró con 2 poblaciones del Estado de México, que presentaron los promedios más altos en número de vainas (20), peso total de vainas (41.10g), peso total de semilla por planta (24.83g), ancho de vaina (1.35cm), firmeza de ejote (20.24N), anchura de semilla (1.09cm), grosor de semilla (0.69cm), peso de 100 semillas (66.95g) y volumen de 100 semillas (53.80cm³), así como los promedios más bajos en distancia de entrenudos (15.02cm), longitud de vaina (10.64cm) y semillas por vaina (4). Este grupo mostró correspondencia total con el grupo 4 de componentes principales. La población T5 de Tlaxcala constituyó el grupo 7 (Figura 2), esta población se separó de las del grupo de Tlaxcala debido a fuertes diferencias en peso de materia seca total (150.33g), número de vainas (27), peso total de vaina (67.93g), peso total de semilla por planta (41.47g) y con arquitectura de planta (3) con la distribución de vainas en la parte superior. Este grupo corresponde totalmente con el grupo 6 de componentes principales. El grupo 8 (Figura 2) se integró con poblaciones de Guerrero (1) y Oaxaca (1), estas poblaciones fueron fuertemente afectadas por las heladas, posiblemente por sus ciclos de crecimiento largos, que las expone al efecto de los factores ambientales como heladas y sequía, también correspondió íntegramente con el grupo 5 de componentes principales.

Los resultados de los análisis de componentes principales y de conglomerados mostraron alta correspondencia en la forma de agrupar a las poblaciones; ambos análisis muestran la amplia diversidad morfológica de las poblaciones nativas en formas de planta, vaina y semilla, y la diferenciación morfológica de las poblaciones asociada con su procedencia. Estas poblaciones indeterminadas son cultivadas principalmente en asociación con maíz, en áreas donde predominan grupos y culturas indígenas que

han mantenido hasta nuestros días los sistemas de producción tradicionales y sus componentes biológicos. Sin embargo, estos sistemas están siendo substituidos y el germoplasma de las especies que los integran se encuentra en alto riesgo de extinción (López, 1984). Este estudio hace evidente el valor biológico de las poblaciones nativas de frijol y la necesidad de preservarlas, estudiarlas y aprovecharlas con el objeto de integrar y desarrollar sistemas de producción complejos más eficientes y productivos.

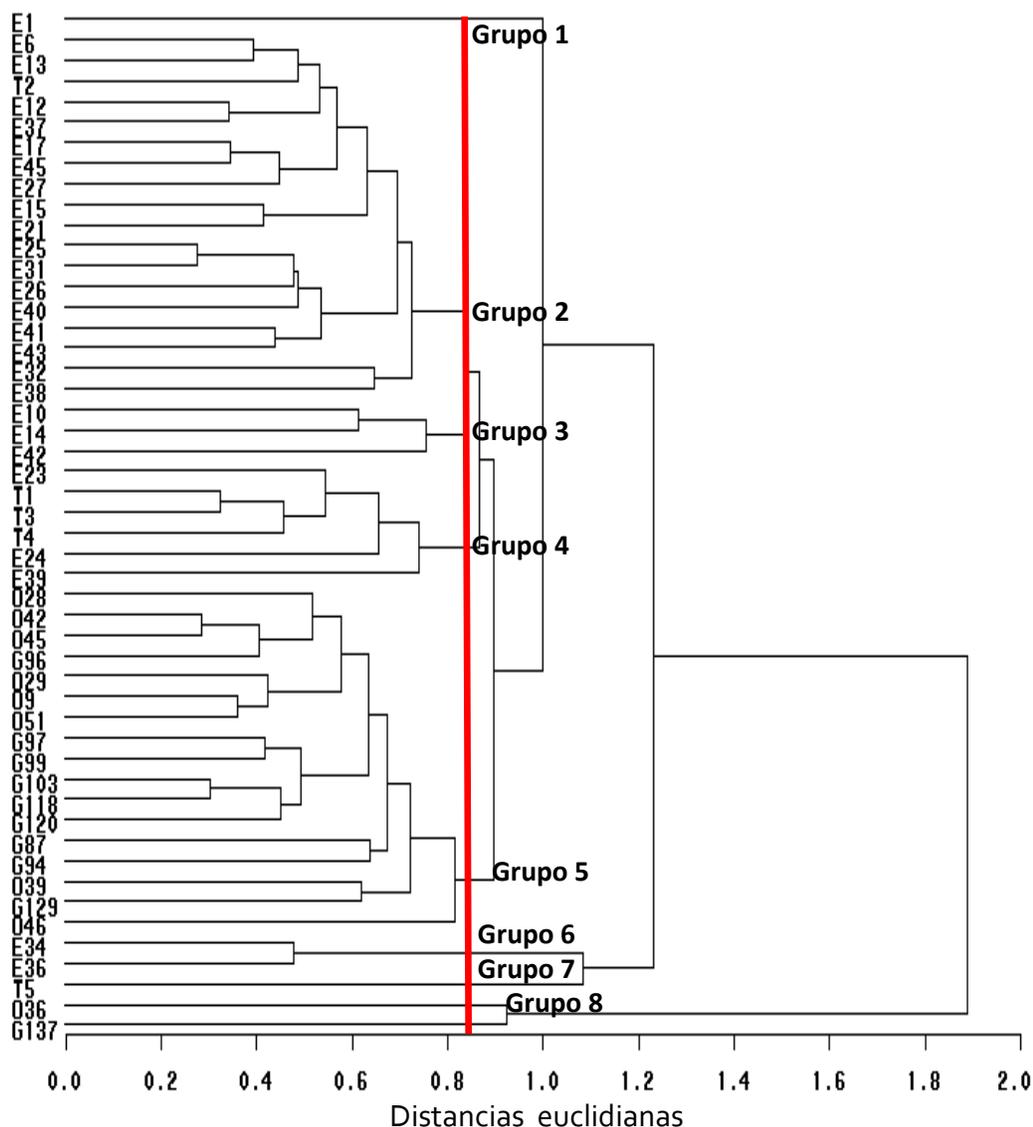


Figura 2. Agrupamiento de 50 poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) del los estados de México (E), Morelos (E), Guerrero (G), Oaxaca (O) y Tlaxcala (T), con base a las distancias euclidianas de la combinación de 19 variables morfológicas.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación confirman los hallazgos de estudios anteriores en relación con el alto grado de variación y diversidad morfológicas que aún se encuentran en las poblaciones nativas indeterminadas, independientemente del conjunto de poblaciones evaluadas.

La diversidad morfológica observada en las poblaciones de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala fue amplia, ya que se distribuyeron en los cuatro cuadrantes, aunque la mayor concentración ocurrió en los cuadrantes I, II Y IV. El grupo poblacional con mayor diversidad morfológica se integró con poblaciones de los Estados de México, Morelos y Tlaxcala (Grupo 1); ubicándose en los cuadrantes I y IV, el grupo con poblaciones de Guerrero y Oaxaca se localizó mayormente en cuadrante III. La separación espacial de estos grupos resulta de una clara diferenciación en rendimiento y tamaño de semilla entre poblaciones de diferente origen.

La mayor variación, en características cuantitativas agronómicas, se observó en peso total de vainas, numero de vainas, peso total de semilla fértil, arquitectura de planta, peso de materia seca total y firmeza de vainas, que presentaron coeficientes de variación de 39.64 a 54.13 %, la menor variación se encontró en el peso volumétrico de semilla, inicio de floración y distancia de entrenudos, que presentaron coeficientes de variación en el intervalo de 3.30 a 6.31 %

Las poblaciones E1, T5 y O51 con potencial agronómico se adaptaron a las condiciones de Montecillo, Fueron las más precoces y por lo consiguiente presentaron el mayor número de vainas en promedio, peso de vainas y peso total de semilla, pese a los factores ambientales adversos que se presentaron durante el ciclo de evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri M A, L Merrick (1987)** In situ conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany* 4: 86-96.
- Avendaño A C H, P Ramírez V, F Castillo G, J L Chávez S, G Rincón E (2004)** Diversidad isoenzimática en poblaciones nativas de frijol negro. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. Chapingo, México. Vol. 27. 31-40.
- Bellon M R (2009)** Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas, en *Capital natural de México*, vol. II; Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp.355-382.
- Castillo M M, P Ramírez V, F Castillo G, S Miranda C (2006)** Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del estado de México. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 29 (2): 111-119.
- Clawson D L (1985)** Harvest security and intraspecific diversity in traditional tropical agriculture. *Econ.Bot.* 39:56-67.
- Delgado S, A R Bibler, Lavin M (2004)** Molecular phenology of the genus *Phaseolus* L. (Fabaceae). *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 47:31-32.
- Gepts P, D G Debouck (1991)** Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *In: Common Beans: Research for Crop Improvement*. A Schoonhoven, O Voyset (eds). CAB International y Centro International de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp: 7-53.

- Kwak M, Kami J, Gepts P (2009)** The putative Mesoamerican domestication center of *Phaseolus vulgaris* is located in the Lerma-Santiago Basin of Mexico. *Crop Sci* 49: 554-563. DOI: 10.2135/cropsci2008.07.
- Lépiz I R (1974)** Asociación de cultivos maíz-frijol (Folleto técnico Núm. 48). Secretaria de Agricultura y Ganadería, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Chapingo, México, 46 p.
- Lépiz I R (1984)** Avances de investigación en sistemas de producción que involucran frijol en Mexico. *Germen* 2 (2): 1-46.
- Rincón Sánchez F, J M Hernández C (2000)** Conservación de Recursos Fitogenéticos en México en Recursos Fitogenéticos para la alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenetica A.C. Chapingo, Estado de México, México. 130 p.
- Rocandio M, P Ramírez V, F Castillo G, S Miranda C, J A Gómez E (2009)** Diversidad en características de interés agronómico de poblaciones nativas de frijol común en asociación con maíz. Int: Memoria del X Simposio Internacional y V Congreso Anual de Agricultura Sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, A.C. (ed). 9-14 de noviembre. Chiapas, México. pp:44-52.
- SAS institute inc (2004)** SAS software release 9.0. SAS institute inc. Cary. NC.
- Tuxil J, G P Nabhan, (2001)** Plantas, comunidades y áreas protegidas. Una guía para el manejo in situ. Manuales de conservación de la serie “pueblos y plantas”. Fondo Mundial para la Naturaleza, Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo, Uruguay. 227 pp.

CAPÍTULO III

CONTENIDO DE FIBRA CRUDA, CENIZA, MATERIA SECA Y FIRMEZA DE EJOTE EN POBLACIONES NATIVAS DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO

RESUMEN

Los ejotes del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son una hortaliza de alta calidad nutritiva cuyo consumo tiende a incrementarse en México. El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el contenido de fibra cruda, cenizas, materia seca y firmeza de ejote presente en 48 poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado, 23 del estado de México, 3 de Morelos, 8 de Oaxaca, 9 de Guerrero y 5 de Tlaxcala, cultivados en asociación con maíz (*Zea mays* L.). Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en contenido de fibra cruda, de ceniza y firmeza de ejote, entre poblaciones. Las 48 poblaciones presentaron amplia variación, que fue mayor en firmeza de ejote y contenido de cenizas (C.V.= 39.64 y 33.22 %, respectivamente). La menor variación se presentó en contenido de fibra cruda (14.77%) y materia seca con (4.07%). Entre grupos poblacionales no se obtuvieron diferencias estadísticas. Las poblaciones del estado de México E41 y E14 registraron mayor contenido de fibra cruda (34.77% y 25.62%, respectivamente) y materia seca (84.16% y 83.19%, respectivamente). Las poblaciones de Guerrero fueron las de mayor porcentaje de cenizas y firmeza de ejote; la población G118 tuvo mayor contenido de cenizas (9.92%); y la G94 la de mayor firmeza de ejote (25.41 N).

Palabras claves: *Phaseolus vulgaris* L., ejotes, poblaciones nativas, calidad fibra, cenizas, firmeza

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por su multiplicidad de usos es un cultivo de gran importancia para los pueblos latinoamericanos y México no es la excepción, ya que se puede consumir la semilla seca y el fruto fresco en forma de ejote, y aportar a la dieta humana vitaminas, aminoácidos, minerales y carbohidratos (Bittenbender *et al.*, 1984). En particular, los principales productores de ejote son China, India e Indonesia (FAO, 2009). En México se cosechan 10 t ha^{-1} de ejote en condiciones de riego, en los estados de Morelos, Puebla, Hidalgo y Sinaloa principalmente, en donde se obtiene 78.9 % de la producción nacional. La siembra de frijol ejotero en México es posible gracias a la diversidad de climas, fenómeno que permite la distribución de la producción todo el año. El cultivo de frijol para ejote tiene importancia social y económica, ya que se requiere mano de obra para las prácticas agrícolas y cosecha, generando fuentes de empleo temporales así como divisas por la exportación a mercados de Estados Unidos y Europa (Salinas *et al.*, 2008). El consumo de ejote per cápita en México pasó de 0.9 a 1.1 kg en los últimos años (SAGARPA, 2009).

Las normas internacionales de exportación exigen calidad morfológica y nutricional en los productos agrícolas, por lo que en México se ha creado la marca de calidad suprema en el cultivo del frijol ejotero, la que exige propiedades de apariencia, sabor y textura; además otras características que determinan la calidad del producto como la sanidad, la estabilidad y el valor nutricional. En este último aspecto, es necesario realizar análisis químicos y bioquímicos para evaluar cuantitativamente el contenido de compuestos esenciales como fibras, proteínas y minerales. (Chefel *et al.*, 1999). La

Norma Mexicana FF-19-1982 para ejote (*Phaseolus vulgaris* L.), establece que los ejotes deben ser frescos, limpios, sanos, enteros y bien desarrollados, tener forma, sabor y olor característico, tener consistencia firme, estar exentos de humedad exterior, prácticamente libres de descomposición o pudrición y libres de defectos de origen, meteorológico, entomológico, microbiológico o genético – fisiológico. La norma no establece especificaciones cuantitativas en relación con las características de calidad externa del ejote ni en relación con el valor nutritivo.

Sikorski (2002) menciona que los contenidos de fibra, proteína, carbohidratos y minerales, son esenciales para el mantenimiento homeostático del cuerpo humano. La fibra dietética está constituida principalmente de polisacáridos, dentro de los que se encuentran la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, aunque esta última no está constituida por carbohidratos sino de un derivado del fenilpropano. La fibra no es asimilable por el tracto digestivo del ser humano (Kritchevsky *et al.*, 1990); pero es de mucha utilidad porque reduce problemas de estreñimiento, hemorroides y colesterol, además ayuda a regular la digestión, limpia los intestinos grueso y delgado (Zhang *et al.*, 2006) y reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, como arterioesclerosis. El requerimiento diario de fibra es de 20 a 40 g por persona, consumo que puede ayudar a reducir el sobrepeso y la obesidad. El alto contenido de fibra (25 %) acortó el tiempo de tránsito intestinal, la tasa de glucosa sanguínea postprandial, la absorción de grasa y colesterol y, está relacionado con la prevención del cáncer de colon (Brock *et al.*, 2006).

La gran mayoría de los estudios en frijol ejotero se han enfocado a la producción y adaptación de dichos materiales; sin embargo, estudios recientes se han enfocado a la calidad nutrimental tanto en variedades comerciales como en poblaciones nativas.

Investigadores como Zhiwei *et al.* (1995), Esquivel *et al.* (2006) y Salinas *et al.* (2008) se han aplicado al conocimiento del valor nutrimental de los ejotes, sobre todo en los contenidos de fibra cruda, cenizas, calcio, fosforo, proteínas, grasas, lignina y minerales.

Con base en estos antecedentes, se realizó el presente estudio con el objetivo de evaluar el contenido de fibra cruda, ceniza, materia seca y firmeza de ejote presente en un grupo de 48 poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado cultivadas en asociación con maíz, proveniente de cinco regiones de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Un grupo de 48 poblaciones nativas obtenidas en 2010 directamente de agricultores en los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala fueron evaluadas, las poblaciones fueron seleccionadas con base en la localidad de origen y agricultor donante, así como por sanidad y tipo de semilla. Los datos principales de dichas poblaciones se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Claves de colecta, origen y nombre común de 48 poblaciones de frijol de hábito indeterminado cultivadas en asociación, de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala evaluadas en Montecillo, estado de México en 2010.

Identificación	Clave	Localidad de origen	Entidad	Nombre Común
EM-10-1	E1	Cuecucuatitla (El Pueblito).	Estado de México	Rojo o Vaquita
EM-10-6	E6	Atlatlahuacan	Morelos	Colado
EM-10-10	E10	Nepantla.	Estado de México	Vaquita
EM-10-12	E12	Totolapa	Morelos	Apetito
EM-10-13	E13	Totolapa	Morelos	Cacahuate
EM-10-14	E14	San José Tlacotitlan	Estado de México	Amarillo
EM-10-15	E15	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
EM-10-17	E17	San Andres Tlalamac	Estado de México	Garrapato
EM-10-21	E21	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Color de Rosita

EM-10-23	E23	Cuijingo	Estado de México	Coconita
EM-10-24	E24	Nepantla	Estado de México	Flor de Mayo
EM-10-25	E25	San Andres Tlalamac	Estado de México	Vaquita
EM-10-26	E26	San Andres Tlalamac	Estado de México	Torito
EM-10-27	E27	San Andres Tlalamac	Estado de México	Garrapato o Morito
EM-10-31	E31	Nepantla	Estado de México	Vaca
EM-10-32	E32	San José Tlacotitlan	Estado de México	Negro Bola
EM-10-34	E34	Atlautla	Estado de México	Amarillo
EM-10-36	E36	San Andres Tlalamac	Estado de México	Amarillo
EM-10-37	E37	San Andres Tlalamac	Estado de México	Apetito
EM-10-38	E38	San Lorenzo Tlaltecoyac	Estado de México	Negro Bola
EM-10-39	E39	Juchitepec	Estado de México	Color de Rosa
EM-10-40	E40	Cuecucuautila (El Pueblito)	Estado de México	Cabeza de Ahuate
EM-10-41	E41	Tepetlixpa	Estado de México	Rojo
EM-10-42	E42	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
EM-10-43	E43	San Mateo Tecalco	Estado de México	Frijol Negro
EM-10-45	E45	Cuecucuautila (El Pueblito)	Estado de México	Alubia o Novia
OAX-10-9	O9	Chamizal	Oaxaca	Negro Ejotero
OAX-10-28	O28	Barrio San Sebastian Tlaxiaco	Oaxaca	Frijol Colorado
OAX-10-29	O29	Santa Lucrecia.	Oaxaca	Frijol Tempranero
OAX-10-39	O39	San Pedro Molinos	Oaxaca	Frijol de Ejote
OAX-10-42	O42	Santa Maria Tataltepec	Oaxaca	Negro o Frijol Grueso
OAX-10-45	O45	Haquiniyiqui	Oaxaca	Negro Ayocote
OAX-10-46	O46	Haquiniyiqui	Oaxaca	Cuarenteño
OAX-10-51	O51	San Isidro	Oaxaca	Amarillo
GRO-10-87	G87	Almolonga	Guerrero	Frijol Rojo
GRO-10-94	G94	Chilacachapa	Guerrero	Pintito de Vara
GRO-10-96	G96	Zoquiapan	Guerrero	Frijol negro de Vara
GRO-10-97	G97	Zoquiapan	Guerrero	Negro de Vara o Milpa
GRO-10-99	G99	Santa Ana	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-103	G103	El Refugio	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-118	G118	Las Trancas	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
GRO-10-120	G120	Las Trancas	Guerrero	Rojo de Cascara Dura
GRO-10-129	G129	Zompepelco	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
TLA-10-1	T1	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
TLA-10-2	T2	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Vaquita
TLA-10-3	T3	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Moradito o Morita
TLA-10-4	T4	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
TLA-10-5	T5	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Pinto

El análisis de fibra cruda, cenizas y materia seca de los ejotes se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal, del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-

Ganadería, *Campus Montecillo*, Estado de México, del Colegio de Postgraduados. Para determinar contenidos de fibra cruda, cenizas (Base Seca), y materia seca, se utilizaron los métodos de la A.O.A.C de 1975 (citado por Mendoza *et al.*, 2005). Las muestras se obtuvieron cortando 10 vainas (ejotes) por parcela, que se colocaron en bolsas de papel de 15 cm X 10 cm (largo y ancho), Los ejotes se secaron en una estufa durante 24 horas a 90°C. Una vez que estuvieron secas, se procedió a molerlas en un molino eléctrico marca BRAUN Aromatic KSM2 con criba de 5 micras, la harina obtenida se sometió a los diferentes análisis con dos réplicas por cada determinación, con base en las técnicas y equipos que a continuación se describen:

VARIABLES EVALUADAS

CENIZAS (Base Seca)

Los crisoles se colocaron en la estufa a 100 °C durante toda una noche, se les sacó y enfrió a temperatura ambiente en los desecadores. Se etiquetaron y pesaron los crisoles en una balanza analítica con precisión de 0.0001g (Marca OHAUS, modelo Adventurer,). Se colocó aproximadamente 1 g de muestra en cada crisol; se registró el peso nuevamente y se pusieron en la estufa a 110 °C por 24 horas; se sacaron y se enfriaron los crisoles en los desecadores para registrar el peso del crisol con la muestra seca y se calculó el porcentaje de materia seca. Luego se colocaron en una mufla marca LINDBERG a 550 °C, se sacaron los crisoles, y se llevaron nuevamente a los desecadores; una vez fríos se registró el peso del crisol con las cenizas. La cantidad de cenizas, en porcentaje, se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de cenizas} = \frac{(\text{Peso crisol} + \text{cenizas}) - \text{Peso crisol}}{(\text{Peso crisol} + \text{muestra seca}) - \text{Peso crisol}} \times 100$$

FIBRA CRUDA (Base Seca)

De las muestras libres de grasas y humedad, resultantes de la determinación de extracto etéreo, se pesó aproximadamente 1 g (*Pmuestra seca*) que se colocó en vasos Berzelius, a los que se les agregó 200 mL de H₂SO₄ al 1.25 % previamente calentado y se colocaron en el aparato para determinar fibra cruda (Marca LABCONCO). Se encendieron las parrillas hasta que la solución entró en ebullición, controlando el ascenso de la espuma por agitación de los vasos, para evitar pérdida de las muestras. En los embudos del equipo para filtrar a vacío se colocaron círculos de papel filtro marca WHATMAN 541 de 1.25 cm de diámetro, previamente etiquetados, secados en la estufa y pesados (*Ppapel*).

Transcurridos 30 minutos de ebullición de la solución de H₂SO₄ con las muestras, se retiraron los vasos y se agregaron 200 mL de agua destilada, y cuidadosamente se filtró al vacío en los círculos de papel filtro. Estos círculos con los residuos de la muestra filtrada se colocaron en los vasos que les correspondían, junto con 200 mL de sosa al 1.25% previamente calentada, cuidando de que toda la muestra llegase al fondo de la solución. Se procedió a la digestión, colocando los vasos en el aparato para fibra cruda y manteniendo en ebullición durante 30 minutos, al final de los cuales se quitaron los vasos del aparato, se agregaron 200 mL de agua destilada y 25 mL de H₂SO₄.

Se volvió a filtrar en el mismo papel la solución resultante que se descargó del vaso y se concentró en el papel con ayuda de agua destilada; al final en el embudo con el papel se añadió un poco de alcohol etílico. Una vez que se terminó de filtrar, se dobló el papel con la muestra y se colocó en un crisol previamente identificado y pesado, se puso a secar en la estufa durante la noche y al siguiente día se registró el peso

(*Pestufa*). El crisol con el papel y la muestra ya pesados, se colocaron en la mufla a 600 °C por una hora, para luego enfriarlos a temperatura ambiente en los desecadores y registrar los pesos finales (*pmufla*). Para calcular el porcentaje de fibra cruda se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de fibra cruda} = \frac{\text{Pestufa} - \text{Pmufla} - \text{Ppapel}}{\text{Pmuestra seca}} \times 100$$

FIRMEZA DE EJOTE. La firmeza (FIR E) se midió con un penetrómetro (FORCE FIVE, Modelo FDV-30) en 3 vainas por parcela cuando estaban en formación de grano, registrando la resistencia de la piel de la vaina a la punción (Newton).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con los datos de cada variable se realizó un análisis de varianza, con base en un modelo de bloques al azar con dos repeticiones, tanto por poblaciones como por grupos de origen. Se aplicaron pruebas de normalidad utilizando el método Kolmogorov-Smirno (K-S) al nivel de significancia estadística de $p \leq 0.05$. Con el promedio de contenido de cenizas y contenido de fibras se realizó un análisis de correlación entre las variables fibra cruda y firmeza de ejote; La distribución de las poblaciones con base en dichas variables se representó gráficamente. La comparación de medias se hizo con base en Tukey al nivel de significancia $p \leq 0.05$. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS v. 9.0 (SAS, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis de varianza por grupos poblacionales de procedencia, no se detectaron diferencias estadísticas entre grupos (Cuadro 6), a pesar de los bajos coeficientes de variación, lo que puede ser consecuencia de la variación dentro de grupos. Las poblaciones procedentes de Morelos y Guerrero alcanzaron los contenidos de cenizas más elevados con valores de 4.20 y 4.02 %, mientras que en fibra cruda las poblaciones de Oaxaca y estado de México presentaron los valores más elevados con 21.65 y 21.26 % respectivamente.

Cuadro 6. Contenido de ceniza y fibra cruda en ejote en porcentaje de cinco grupos poblacionales de frijol común, y coeficientes de variación (%) de cada grupo poblacional, evaluados en Montecillo, 2010.

Procedencia	Ceniza	Fibra Cruda	Coeficientes de Variación (%)	
	(%)	(%)	Ceniza	Fibra
Estado de México	2.29	21.26	33.32	17.92
Morelos	4.20	18.75	26.58	9.56
Oaxaca	2.66	21.65	31.59	10.93
Guerrero	4.02	19.81	36.22	15.32
Tlaxcala	3.42	19.17	24.86	3.46
Media	3.32	20.13		
Coeficiente de Variación (%)	12.74	5.31		
DSH	2.98	7.54		

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).
DSH= Diferencia significativa honesta.

Estos resultados indican que la variación en los contenidos de ceniza y fibra es baja, de 2.29 a 4.2 % y de 18.75 a 21.65, por lo que al menos en la muestra evaluada no se observaron diferencias entre grupos de distinto origen. Las variaciones encontradas en estas muestras de grupos poblacionales en el contenido de cenizas de los ejotes en las poblaciones nativas fueron menores a los informados previamente por Salinas *et al.* (2008), quienes en el cultivar “Hav-14” de hábito de crecimiento indeterminado (tipo IV),

en dos fechas de siembra, encontraron intervalos de 6.1 a 9.0 %. En contraste, el contenido de fibra cruda de las poblaciones nativas evaluadas superó a los encontrados por Esquivel *et al.* (2006) en las poblaciones Kentucky Wonder 765, Kentucky Wonder 814 y Golden Gate Wax de habito de crecimiento indeterminado, que mostraron intervalos de 13.7 a 18.3 %.

En contraste con los análisis por grupos de origen, los análisis entre poblaciones individuales presentaron diferencias estadísticas en contenido de fibra cruda, de cenizas, y en firmeza de ejotes. La materia seca no mostró diferencias estadísticas (Cuadro 7). Las poblaciones E41 y E14, ambas del estado de México, destacaron por el mayor contenido de fibra cruda, 34.77 y 25.62%, respectivamente; mientras que, los menores contenidos se obtuvieron en las poblaciones G103 y E27, con 14.74 y 14.20%, respectivamente. En firmeza de ejote las poblaciones con los valores más altos fueron G94 (25.41 N) y E24 (23.59 N), mientras que las poblaciones E10 y E1, presentaron la menor firmeza (6.52 y 7.31N, respectivamente).

En contenido de cenizas las poblaciones G118 (9.92%), E12 (8.95%) y E10 (8.89%) mostraron los porcentajes más altos, y las poblaciones E27 (0.66%) y E21 (0.50%) mostraron los porcentajes más bajos.

Cuadro 7. Contenido de cenizas, materia seca, fibra cruda y firmeza de ejote de 48 poblaciones nativas de frijol evaluada en Montecillo, estado de México en 2010.

Población	Clave	Cenizas (%)	Materia Seca (%)	Fibra Cruda (%)	Firmeza de Ejote (Newton)
EM-10-1	E1	4.05	77.48	20.76	7.31
EM-10-6	E6	1.58	72.62	15.49	8.37
EM-10-10	E10	8.89	77.23	16.00	6.52
EM-10-12	E12	8.95	83.09	20.77	12.34
EM-10-13	E13	2.08	75.57	20.01	9.85
EM-10-14	E14	2.91	83.19	25.62	14.90
EM-10-15	E15	2.39	82.66	23.79	18.40
EM-10-17	E17	1.05	72.48	18.08	11.30

EM-10-21	E21	0.50	74.41	17.89	17.57
EM-10-23	E23	1.31	72.31	14.92	10.52
EM-10-24	E24	3.46	79.59	20.96	23.59
EM-10-25	E25	1.47	73.97	18.24	8.39
EM-10-26	E26	1.07	77.79	23.86	7.37
EM-10-27	E27	0.66	72.79	14.20	13.68
EM-10-31	E31	0.90	74.40	17.33	8.74
EM-10-32	E32	1.51	76.47	22.01	11.88
EM-10-34	E34	1.71	76.04	21.84	19.20
EM-10-36	E36	2.20	73.83	19.04	21.28
EM-10-37	E37	1.83	76.86	23.25	21.04
EM-10-38	E38	1.66	73.26	18.44	10.90
EM-10-39	E39	3.53	81.82	24.92	16.55
EM-10-40	E40	4.69	81.64	23.80	10.14
EM-10-41	E41	2.70	84.16	34.77	8.15
EM-10-42	E42	0.98	80.30	24.53	9.07
EM-10-43	E43	1.43	76.20	19.68	9.50
EM-10-45	E45	1.88	81.22	25.25	14.14
OAX-10-28	O28	3.15	78.28	19.76	12.70
OAX-10-29	O29	5.90	81.56	20.24	7.65
OAX-10-9	O9	3.79	80.51	22.53	12.88
OAX-10-39	O39	1.66	76.32	22.59	18.52
OAX-10-42	O42	1.84	78.81	24.39	11.90
OAX-10-45	O45	2.92	79.47	24.16	8.85
OAX-10-46	O46	1.07	72.05	17.21	10.54
OAX-10-51	O51	2.57	76.59	22.36	9.78
GRO-10-87	G87	2.90	78.30	23.56	16.22
GRO-10-94	G94	2.13	75.97	21.24	25.41
GRO-10-96	G96	2.07	73.07	18.43	7.69
GRO-10-97	G97	4.02	79.91	23.24	9.87
GRO-10-99	G99	3.19	80.01	20.56	14.40
GRO-10-103	G103	4.31	75.08	14.74	9.21
GRO-10-118	G118	9.92	79.97	17.08	8.97
GRO-10-120	G120	1.38	73.40	18.98	8.49
GRO-10-129	G129	6.28	81.06	20.47	10.04
TLA-10-1	T1	1.83	75.39	20.80	17.22
TLA-10-2	T2	3.56	76.02	18.39	15.61
TLA-10-3	T3	6.50	79.17	17.70	12.81
TLA-10-4	T4	3.40	77.33	20.85	16.02
TLA-10-5	T5	1.83	72.43	18.17	20.51
Promedio		2.94	77.33	20.68	12.32
Coefficiente de Variación %		33.22	4.07	14.77	39.64
DSH		4.16	13.38	12.99	38.32

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 0.05). DSH= Diferencia significativa honesta.

Para materia seca no se detectaron diferencias estadísticas entre poblaciones, en un intervalo de variación de 72.05 a 84.16 %. Los valores encontrados en el presente trabajo en contenido de fibra cruda (28.68 %) fueron mayores a los encontrados por Zhiwei *et al.* (1995) quienes evaluaron 51 genotipos de frijol ejotero con un promedio de 11.6 % y similares a los de Salinas *et al.* (2012) quienes evaluaron en dos ambientes, dos variedades de crecimiento determinado (Strike y Black Valentine) y uno de crecimiento indeterminado (Hav-14), los cuales en el ambiente de Montecillo presentaron promedios de 21.9 % de fibra detergente ácida, y 28.5 % en fibra detergente neutra. Los valores encontrados en este estudio mostraron el potencial de las poblaciones nativas, equiparables a los de las variedades comerciales extranjeras.

Diversidad en características de ejote

Otra forma de visualizar la diversidad en las poblaciones evaluadas, es mediante el análisis de la distribución con base en las características de ejote, particularmente del contenido de cenizas y fibra cruda.

El contenido de ceniza (K-S, $d=.159709$, $p < 0.05$) con base en la regla de decisión (Pedroza y Dicoovskyi, 2007) no presentó una distribución normal (Figura 3) La gráfica muestra que 41 de las 48 poblaciones evaluadas presentaron promedios de 1.02 a 5.21%, sólo tres poblaciones presentaron contenidos de cenizas de 6.26 a 6.78 %. En la parte positiva de la grafica se presentaron tres poblaciones con contenidos de cenizas de 9.40 a 9.92 %, como resultado de que su mayor contenido de minerales. La cantidad de cenizas representa el contenido total de minerales en los alimentos. La determinación del contenido de cenizas es importante por varias razones: son una parte del análisis para la evaluación nutricional. Las cenizas son el primer paso en la

preparación de una muestra de alimentos para análisis elemental específico, la determinación del contenido de cenizas sirve para obtener la pureza de algunos ingredientes que se usan en la elaboración de alimentos tales como azúcar, pectinas, almidones; el contenido de cenizas en las plantas puede ser variable, las cenizas contienen los elementos inorgánicos, mucho de los cuales son de interés nutricional como es el caso del calcio y el fósforo.

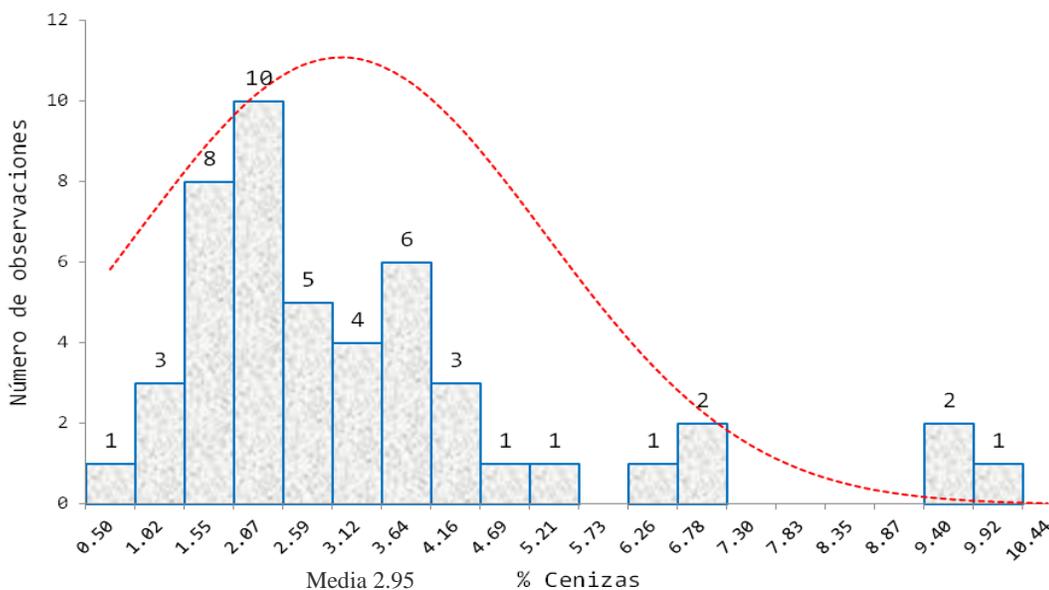


Figura 3. Distribución de la frecuencia de 48 poblaciones nativas de frijol común, del estado de México, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala evaluadas en asociación con maíz en Montecillo, estado de Mexico en 2010, con base en el contenido de cenizas en ejote.

En contenido de fibra cruda (K-S, $d=.074073$, $p> .15$), con base en la regla de decisión (Pedroza y Dicovskyi, 2007) se presentó una distribución normal. En la Figura 4. Se aprecian cuatro grupos, el primer grupo está compuesto por cinco poblaciones con promedios de 14.20 a 16.49 %; el segundo grupo concentró el mayor número de poblaciones (27) con un promedio de 17.63 s 22.20 %. En el tercer grupo (15

poblaciones) se encontraron las poblaciones con promedios de 23.34 a 25.63%: en la parte positiva de la grafica se presentó solamente una población con el mayor contenido de fibra cruda (35.91%). Con base al porcentaje de fibra cruda encontrada en la población, la situada en el extremo derecho de la distribución tiene alto contenido de polisacáridos como celulosa, hemicelulosa y lignina, que constituyen la fibra.

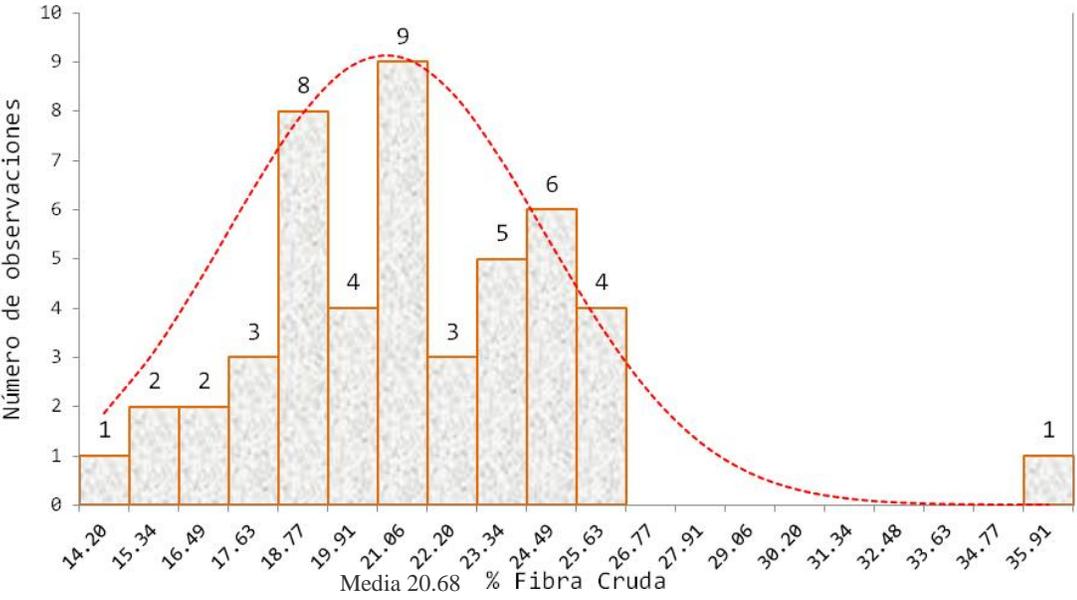
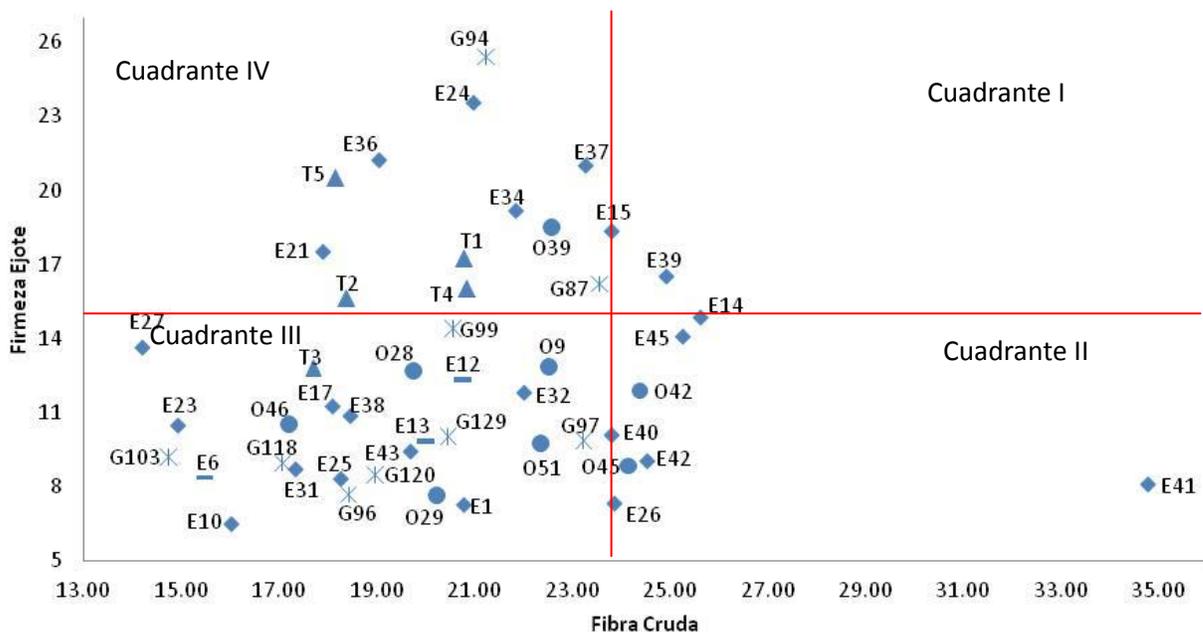


Figura 4. Distribución de la frecuencia de 48 poblaciones nativas de frijol común, del estado de México, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala evaluadas en asociacion con maiz en Montecillo, estado de Mexico en 2010, con base en el contenido de fibra cruda.



Estado de México ◆ Morelos — Oaxaca ● Guerrero * Tlaxcala ▲

Figura 5. Distribución de 48 poblaciones de frijol común en base al contenido de fibra cruda y firmeza de ejote. Montecillo, 2012.

La representación gráfica de la distribución de las poblaciones con base en el contenido de fibra cruda y firmeza del ejote mostró una baja asociación ($r= 0.1$). En la Figura 5. Las poblaciones se distribuyeron en cuatro grupos, concentrándose en mayor proporción en los cuadrantes III y IV.

El grupo 1 que se localizó en el cuadrante I con firmeza y contenido de fibra altos, se integró con tres poblaciones del estado de México. Este grupo se caracterizó por un contenido de fibra cruda entre 24 y 25 % y firmeza de ejote entre 15 y 19 Newton. En el cuadrante II, el grupo 2 se integró con cinco poblaciones del estado de México y dos poblaciones de Oaxaca, este grupo se caracterizó por tener el mayor contenido de fibra cruda, entre 24 y 35 %, con firmeza menor a la media, entre 7 y 14 Newton. El grupo 3, se presentó en el cuadrante III, fue el mayor con 26 poblaciones, diez del

estado de México, siete de Guerrero, cinco de Oaxaca, tres de Morelos y una de Tlaxcala; estas poblaciones se caracterizan por una firmeza de ejote menor al promedio (7 a 14 Newton) y contenido de fibra cruda menor al promedio general (14 a 23%). En el cuadrante IV, grupo 4, se distribuyeron doce poblaciones, cinco del estado de México, cuatro de Tlaxcala, dos de Guerrero y una de Oaxaca, que presentaron valores inferiores al promedio en firmeza de ejote (15 a 25 Newton) y mayor porcentaje de fibra cruda (18 a 23%).

CONCLUSIONES

Las 48 poblaciones nativas evaluadas presentaron amplia variación en los contenidos de ceniza, firmeza y fibra. La mayor variación se presentó en firmeza de ejote y contenido de cenizas, (C.V= 39.64 y 33.22 %, respectivamente). La menor variación fue en contenido de fibra cruda (14.77%) y materia seca (4.07 %). Entre grupos poblacionales no se registraron diferencias estadísticas. Las poblaciones del Estado de México E41 y E14 presentaron mayor contenido de fibra cruda (34.77% y 25.62%, respectivamente) y materia seca (84.16% y 83.19%, respectivamente). Las poblaciones de Guerrero presentaron mayor porcentaje de cenizas y firmeza de ejote; la población G118 registró mayor porcentaje de cenizas (9.92%) y la G94 una firmeza de ejote (25.41 Newton). No se observó asociación entre el contenido de fibra y la firmeza de ejote ($r=0.1$).

BIBLIOGRAFÍA

- Bittenbender H C, R Barret P, B Indere-Larusa (1984)** Beans and cowpeas as leaf vegetables and grain legumenes. Bean cowpea collaborative research support program. Monographs no. 1. Michigan State University. East Lansing, MI, USA. 24 p.
- Brock W D, K C Davis, A I Brian, J Rodriguez, J E Barret, A Weltman, G A Taylor, A G Gaesser (2006)** A high- carbohydrates, high-fiber meal improves endothelial function in adults with the metabolic syndrome. *Diabetes Care*. 29(10): 2313-2315.
- Cheftel J C, H Cheftel, P Besancon (1999)** Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Primera edición. Editorial ACRIBA. Zaragoza, España. 404 p.
- Esquivel E G, A A J Gallegos, R R Serna, P P Herrera, H M J Casillas, N R Maya, M S J Martínez (2006)** Productividad y adaptación de frijol ejotero en el Valle de México. *Revista Chapingo serie Horticultura*. 12 (1): 109-116.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2009)** Crecimiento demográfico mundial [en línea] Disponible en <http://apps.fao.org/default.isp>. (Consultado 9 de octubre del 2012).
- Kritchevsky D, C Bonfield, and W J Anderson (1990)** Dietary fiber chemistry, physiology, and health effects. Plenum press. New York and London. 499 p.
- Mendoza G, M Crosby, J Lee (2005)** Manual del Laboratorio de Nutrición Animal. Orientación Ganadería. Colegio de Postgraduados. 58 pp.

- Pedroza H, Dicovsky L (2007)** Sistema de Análisis Estadísticos con SPSS. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua Nicaragua. pp 26-27.
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación) (2009).** Producción de hortalizas. Disponible en <http://www.sagarpa.gob.com.mx> (consultado el 8 de febrero del 2012).
- Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2008)** Rendimiento y Calidad Nutrimental de Frijol Ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en Fechas de Siembra. Revista Fitotecnia Mexicana. 31 (3):235-241.
- Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2012)** Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero en dos ambientes. Revista Fitotecnia Mexicana. 35 (4):317-323
- SAS institute inc (2004)** SAS software release 9.0. SAS institute inc. Cary. NC.
- Sikorski Z E (2002)** Chemical and functional properties of food components Second Edition. Crc Press. New York. 367 p.
- Zhang C, S Liu, G C Solomon, B F Hu (2006)** Dietary fiber intake, dietary glicemic load, and the risk for gestational diabetes mellitus. diabetes care. 20 (10): 2223-2
- Zhiwei Q, X Xangyang, L Hongyu, Y Chengge, T Bing (1995)** Evaluation of quality characteristic of the fresh pods of the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in breeds in Heilongilang province. Acta Hort. 402: 200-205.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN GENERAL

México es un importante centro de domesticación y diversificación de especies cultivadas con gran importancia global, como por ejemplo el maíz, el frijol, la calabaza y el chile, entre otras especies. Esta diversidad en las especies cultivadas ha sido el resultado de eventos biológicos y de la interacción con el hombre durante cientos de generaciones, ya que las poblaciones humanas han conformado y mantenido la diversidad en función de sus necesidades, intereses, prácticas y conocimientos (Bellon, 2009).

El género *Phaseolus* está compuesto por alrededor de 150 especies, de las cuales 67 son originarias de México (Miranda, 1991). En el caso del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es posible encontrar poblaciones silvestres desde el estado de Chihuahua, en México, hasta el norte de Argentina. Los hallazgos arqueológicos y las evidencias científicas muestran dos centros primarios de domesticación y diversidad genética del frijol común, el mesoamericano y el andino (Debouck, 1985).

En numerosas regiones del país se utilizan poblaciones nativas de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación con maíz, en sistemas tradicionales conocidos como milpa, en los que se conjugan variantes biológicas inter e intra específicas. Estos sistemas y sus componentes biológicos, son el resultado del conocimiento tradicional acumulado por numerosas generaciones de agricultores, quienes han desarrollado las variantes biológicas y las han integrado en sistemas complejos, que hacen uso eficiente e integral de los recursos naturales disponibles (Nadal, 2000).

En México se encuentra una amplia diversidad entre y dentro de especies del género *Phaseolus* empleados como parte del sistema, siendo la especie *Phaseolus vulgaris* L. la de mayor importancia económica, social y biológica, ya que en esta especie se encuentra una amplia diversidad de formas de planta, de hábitos de crecimiento, de color y de tamaño de la semilla; poblaciones que en general se adecuan a las condiciones ecológicas y necesidades regionales que han resultado de un prolongado proceso de domesticación que continua hasta nuestros días (Lépiz, 1984).

Diversidad morfológica

Aunque los estudios sobre la diversidad del frijol en México han sido enfocados a la clasificación de especies (Delgado *et al.*, 2004), el interés por profundizar en el conocimiento de la diversidad morfológica, agronómica y genética de *P. vulgaris* se ha incrementado en años recientes. Por ejemplo, Avendaño *et al* (2004) con base en marcadores isoenzimáticos encontraron patrones de variación alélica en poblaciones de frijol común tipo negro de diferentes regiones de México, y la mayor diversidad genética en germoplasma de los estados de Hidalgo, México, Puebla y Veracruz. Por su parte, Castillo *et al.*(2006); y Rocandio *et al.* (2009) estudiaron la diversidad morfológica de poblaciones de frijol común de habito indeterminado en la región oriental del estado de México, y encontraron amplia variación en hábitos de crecimiento, tamaño, color y variegado de la semilla, con una mayor proporción de poblaciones de hábito indeterminado, enredadoras con capacidad para trepar; en las que ,además, los nombres regionales estuvieron asociados con las características de la semilla. En esta región, así como en otras áreas en que se cultiva el frijol en sistemas asociados tradicionales, se observa la disminución de la superficie cultivada, ya que como lo

mostraron Castillo *et al.* (2006) sólo 6.6% de los hogares en Ayapango, estado de México cultivaban frijol; no obstante, Rocandio *et al* (2009) indicaron que en la actualidad se encuentran unidades de producción cultivadas con la asociación maíz-frijol en diversas regiones de México, independientemente del clima y altitud. Esta situación ha permitido que la variación genética del frijol se conserve y sea una fuente dinámica de variabilidad, que conserva y mantiene la riqueza genética de la especie, en particular de este tipo de poblaciones nativas, de las que hasta el momento no se tienen variedades mejoradas comerciales, excepto aquellas extranjeras destinadas a la producción de ejote.

Con la finalidad de generar estrategias que permitan optimizar la conservación *in situ* de diferentes especies cultivadas de *Phaseolus*, es necesario estudiar la diversidad morfológica inter e intra específica. Con este objetivo, Castillo *et al.*(2006) evaluaron la amplitud de la variación morfológica de *P. vulgaris* y *P. coccineus* en el oriente del estado de México y norte del estado de Morelos, y encontraron los intervalos de variación mayores en longitud de vainas, peso de 100 semillas y días a floración, y la menor variación en características de semilla (longitud, ancho y grosor), y Rocandio *et al.*(2009) estudiaron la diversidad morfológica y agronómica de poblaciones de *P. vulgaris* y *P. coccineus* del Estado de México y Oaxaca, y encontraron variación mayor en el número de vainas por planta, peso de semilla por planta y peso de materia seca por planta (C.V.=31 a 41 %), y la menor variación (CV= 2.89 a 4.49 %) en características de semilla.

En la presente investigación la variación observada en las poblaciones de los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala fue amplia. La mayor variación en características cuantitativas agronómicas se observó en peso total de

vainas, número de vainas, peso total de semilla, arquitectura de planta, peso de materia seca total y firmeza de vainas, que presentaron coeficientes de variación de 39.64 a 54.13 %; en contraste, la menor variación se encontró en el peso volumétrico de semilla, inicio de floración y distancia de entrenudos, características que presentaron coeficientes de variación en el intervalo de 3.30 a 6.31 %.

Los intervalos de variación encontrados en el presente trabajo en longitud y anchura de vainas, y número de semillas por vaina fueron menores a los encontrados por Castillo *et al.* (2006) y Rocandio *et al.* (2009); en contraste, los intervalos de inicio de floración, longitud de semilla, ancho de semilla, grosor de semilla y peso de 100 semillas fueron mayores a los encontrados en estudios anteriores.

Agrupamiento de la diversidad

La dispersión de las poblaciones en el plano formado por los dos primeros componentes principales y la distribución de las poblaciones en el dendograma derivado del análisis de conglomerados muestra que las poblaciones nativas se integraron en seis y ocho grupos respectivamente, con base en características morfológicas de planta y semilla.

En la representación gráfica de los componentes principales destacan dos gradientes. En el eje correspondiente al componente 1 en dirección de izquierda a derecha se presenta un arreglo de menor a mayor de las poblaciones en relación con su rendimiento, en tanto que en el eje correspondiente al componente 2 en dirección de abajo hacia arriba se observa un gradiente de menor a mayor en relación con el tamaño de la semilla. De esta manera las poblaciones nativas de mayor rendimiento correspondieron a las de los estados de México, Tlaxcala y Morelos, y las de menor

rendimiento y menor adaptación a las de Oaxaca y Guerrero. En tanto que, las poblaciones nativas con mayor tamaño de semilla fueron las de los estados de México, Tlaxcala y Morelos, y las de menor tamaño a las poblaciones de Guerrero y Oaxaca.

Los resultados de los análisis de componentes principales y de conglomerados mostraron alta correspondencia en la forma de agrupar a las poblaciones. Ambos análisis muestran la amplia diversidad morfológica de las poblaciones nativas en formas de planta, vaina y semilla, y la diferenciación morfológica de las poblaciones asociada con su procedencia.

Estas poblaciones indeterminadas son cultivadas principalmente en asociación con maíz, en áreas donde predominan grupos y culturas indígenas que han mantenido hasta nuestros días los sistemas de producción tradicionales y sus componentes biológicos. Sin embargo, estos sistemas están siendo substituidos por sistemas de unicultivo con variedades precoces, y el germoplasma de las especies que los integran se encuentra en alto riesgo de extinción (Lépiz, 1984). Este estudio destaca el valor biológico de las poblaciones nativas de frijol y la necesidad de preservarlas, estudiarlas y aprovecharlas con el objeto de integrar y desarrollar sistemas de producción complejos más eficientes y productivos.

Diversidad en características de ejote

La gran mayoría de los estudios en frijol ejotero se han enfocado a la producción y adaptación de dichos materiales; sin embargo, estudios recientes se han enfocado a la calidad nutrimental, tanto en variedades comerciales como en poblaciones nativas. Investigadores como Zhiwei *et al.* (1995), Esquivel *et al.* (2006) y Salinas *et al.* (2008) se han aplicado al conocimiento del valor nutrimental de los ejotes, sobre todo en los

contenidos de fibra cruda, cenizas, calcio, fosforo, proteínas, grasas, lignina y minerales.

En este estudio, los análisis entre poblaciones individuales presentaron diferencias estadísticas en contenido de fibra cruda, de cenizas, y en firmeza de ejotes. Las poblaciones E41 y E14, ambas del estado de México, destacaron por el mayor contenido de fibra cruda, 34.77 y 25.62%, respectivamente; mientras que, los menores contenidos se obtuvieron en las poblaciones G103 y E27, con 14.74 y 14.20%, respectivamente. En firmeza de ejote las poblaciones con los valores más altos fueron G94 (25.41 N) y E24 (23.59 N), mientras que las poblaciones E10 y E1, presentaron la menor firmeza (6.52 y 7.31N, respectivamente).

En contenido de cenizas las poblaciones G118 (9.92%), E12 (8.95%) y E10 (8.89%) mostraron los porcentajes más altos, y las poblaciones E27 (0.66%) y E21 (0.50%) mostraron los porcentajes más bajos.

Los valores encontrados en el presente trabajo en contenido de fibra cruda (28.68 %) fueron mayores a los encontrados por Zhiwei *et al.* (1995) quienes evaluaron 51 genotipos de frijol ejotero con un promedio de 11.6 %, y similares a los de Salinas *et al.* (2012) quienes evaluaron en dos ambientes, dos variedades de crecimiento determinado (Strike y Black Valentine) y uno de crecimiento indeterminado (Hav-14), los cuales en el ambiente de Montecillo presentaron promedios de 21.9 % de fibra detergente ácida, y 28.5 % en fibra detergente neutra. Los valores encontrados en este estudio mostraron el potencial de las poblaciones nativas en relación a su contenido de fibra, equiparable al de las variedades comerciales extranjeras.

En la actualidad se tiene pocos estudios sistemáticos para conocer el valor agronómico de las poblaciones nativas, a pesar de que estos estudios permitirían el uso

eficiente y racional de los recursos genéticos de las especies del género *Phaseolus*, así como su conservación y aprovechamiento. La presente investigación confirma la hipótesis de la presencia de amplia variabilidad en las poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado, en características de planta, ejote y grano; contribuyó al avance en el conocimiento del valor biológico, genético y agronómico de estas poblaciones; y hizo posible identificar poblaciones con potencial agronómico, que pueden ser incorporadas a los programas de mejoramiento, ya sea en forma directa para su aprovechamiento como variedades mejoradas o como progenitores en estos programas, en los que poblaciones de hábito IV han sido poco utilizadas..

BIBLIOGRAFÍA

Avendaño A C H, P Ramírez V, F Castillo G, J L Chávez S, G Rincón E (2004)

Diversidad isoenzimática en poblaciones nativas de frijol negro. Rev. Fitotecnia Mexicana. Chapingo, México. Vol. 27. 31-40.

Bellon M R (2009) Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas

cultivadas, en Capital Natural de México, vol. II; Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México, pp.355-382.

Castillo M M, P Ramírez V, F Castillo G, S Miranda C (2006) Diversidad

morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del estado de México. Rev. Fitotecnia Mexicana. 29 (2): 111-119.

- Debouck D H R (1985)** Morfología de la planta de frijol común ; en Marcelino López, Fernando Fernández y Aart van Sochoonhoven (comp), *Frijol: investigación y producción* (pp. 7–41). PNUD/CIAT. Cali, Colombia.
- Delgado S, A R Bibler, Lavin M (2004)** Molecular phenology of the genus *Phaseolus* L. (Fabaceae). Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 47:31-32.
- Esquivel E G, A A J Gallegos, R R Serna, P P Herrera, H M J Casillas, N R Maya, M S J Martínez (2006)** Productividad y adaptación de frijol ejotero en el Valle de México. Revista Chapingo serie Horticultura. 12 (1): 109-116.
- Lépiz I R (1984)** Avances de investigación en sistemas de producción que involucran frijol en México. Germen. 2(2): 1-46.
- Miranda C S (1991)** Evolución de *P. vulgaris* y *P. coccineus* In: E. M. Engleman (ed). Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. Pp. 83-99.
- Nadal A (2000)** The environmental and social impact of economic liberalization on corn production in Mexico: a study commissioned by Oxfam GB and WWF International. WWF and Oxfam GB, Gland, Switzerland, 130 p.
- Rocandio M, P Ramírez V, F Castillo G, S Miranda C, J A Estrada G (2009)** Diversidad en características de interés agronómico de poblaciones nativas de frijol común en asociación con maíz. Int: Memoria del X Simposio Internacional y V Congreso Anual de Agricultura Sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, A.C. (ed). 9-14 de noviembre. Chiapas, México. pp:44-52.
- Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2008)** Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. Revista Fitotecnia Mexicana. 31 (3):235-241.

Salinas R N, E J A Escalante, G M T Rodríguez, M E Sosa (2012) Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero en dos ambientes. Revista Fitotecnia Mexicana. 35 (4):317-323.

Zhiwei Q, X Xangyang, L Hongyu, Y Chengge, T Bing (1995) Evaluation of quality characteristics of the fresh pods of the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in breeds in Heilongilang province. Acta Hort. 402: 200-205.