



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS
CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA**

DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y BROMATOLÓGICA DE 75 VARIETADES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO, CULTIVADAS EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ

ESTELI NILOVNA ESPINOSA PÉREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2014

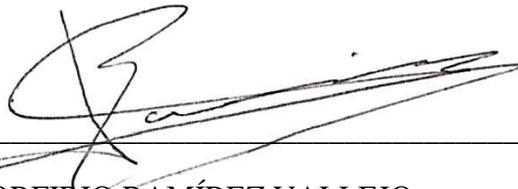
La presente tesis, titulada: **Diversidad morfológica y bromatológica de 75 variedades nativas de frijol común del centro-sur de México, cultivadas en asociación con maíz**, realizada por la alumna: **Esteli Nilovna Espinosa Pérez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD GENÉTICA

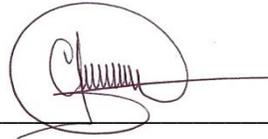
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



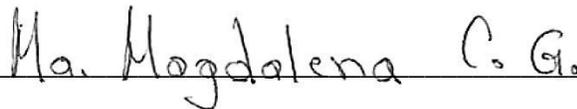
DR. PORFIRIO RAMÍREZ VALLEJO

ASESOR



DR. JOSÉ LUIS CHÁVEZ SERVÍA

ASESOR



DRA. MARÍA MAGDALENA CROSBY GALVÁN

ASESOR



MC. BERNARDO LUCAS FLORENTINO

Montecillo, Texcoco, Estado de México. Febrero de 2014.

DEDICATORIA

A mi hijo Ivarik Adair:

Mi pequeño angelito, quiero que sepas que desde el momento que supimos que venias en camino fuiste un gran regalo de Dios, tu no lo sabes pero pasamos por muchos obstáculos para que llegaras con bien, eres mi gran Guerrero. Por eso quiero que sepas que fuiste mi gran motivación para culminar este proyecto, juntos emprenderemos grandes experiencias, pero esta en especial nos costó mucho esfuerzo.

Al Dr. Porfirio Ramírez Vallejo:

Un infinito agradecimiento por el gran esfuerzo que hizo para culminar este proyecto. Gracias por su conocimiento y trabajo que dedicó a formarme como profesionalista, sobre todo por el gran apoyo que me brindó cuando más lo necesite. Es una persona admirable y guerrera. Con todo honor, admiración y respeto, esto es suyo también.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su gran amor y apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida.

A mi esposo Miguel Ángel, gracias por acompañarme en cada momento mi vida, por darme amor y comprensión, y sobre todo el apoyo que me das en todo lo que emprendo.

A mi hijo Ivarik Adair, quien es la razón de mi vida, es un orgullo ser tu mamá.

A mis hermanos, quienes son muy importantes en mi vida, gracias por estar conmigo.

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

Al Colegio de Postgraduados, específicamente a los maestros del Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad, por haberme compartido sus conocimientos.

Al Dr. Porfirio Ramírez Vallejo, mi consejero, por brindarme su apoyo incondicional, orientación y conocimientos durante mis estudios y en el desarrollo de esta investigación. Tiene mi gran admiración.

A mi consejo particular: Dr. José Luis Chávez Servía, Dra. María Magdalena Crosby Galván, M.C. Bernardo Lucas Florentino, por sus acertadas sugerencias y revisiones durante la investigación del presente documento, así como su apoyo en la realización experimental.

Al M.C. Julio Arturo Estrada Gómez por su apoyo en la revisión final de este documento.

A la Sra. Dalila y al personal de Servicios Académicos, gracias por orientación en los trámites administrativos.

A Juan Carlos Zaragoza laboratorista de marcadores genéticos por el apoyo en la fase de isoenzimas, que aunque no se presentó, merece mencionarse.

A Irma gracias por tu amistad y por apoyarme en la realización experimental en la UNAM.

A mi amigo Pablo, gracias por tu amistad y apoyo en momentos difíciles, es un gran honor conocerte.

A mis amigos del grupo de GENÉTICA a quienes tuve la suerte de conocer y con los cuales compartí momentos inolvidables: Lore, Sandra, Lupita, Chio, Azu, Pablo, Álvaro, Cristian, Eddie, Saulo, Nery, Gregorio. Gracias por su amistad y apoyo.

Al personal de campo, quienes colaboraron en la fase experimental realizada en el Colegio.

Finalmente, gracias a todos los agricultores que me proporcionaron el material de estudio del presente trabajo, sin ustedes no hubiera sido posible.

CONTENIDO GENERAL

RESUMEN	x
SUMMARY	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
JUSTIFICACIÓN	7
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
BIBLIOGRAFÍA	9
CAPÍTULO II. MORFOLOGÍA DE SEMILLA DE POBLACIONES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN DEL CENTRO SUR DE MÉXICO	12
RESUMEN	12
SUMMARY	13
INTRODUCCIÓN	14
MATERIALES Y MÉTODOS	16
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
CONCLUSIONES	26
BIBLIOGRAFÍA	27

CAPÍTULO III. EVALUACIÓN BROMATOLÓGICA DE POBLACIONES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN	29
RESUMEN	29
SUMMARY	30
INTRODUCCIÓN	31
MATERIALES Y MÉTODOS	34
Determinación de proteína total.....	36
Determinación de lectinas.....	37
Determinación de ácido fítico.....	39
Determinación de taninos	40
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
CONCLUSIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	49
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL	52
Variabilidad en semilla de poblaciones de frijol común.....	52
Variación en composición fitoquímica	53
BIBLIOGRAFÍA	55

CONTENIDO DE CUADROS

CAPÍTULO II

- Cuadro 1.** Claves de colecta, origen y nombre común de 75 poblaciones de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación con maíz, en los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala18
- Cuadro 2.** Vectores y valores propios del análisis de componentes principales (CP), con base en seis variables descriptivas de semilla de 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado22
- Cuadro 3.** Comparación de grupos fenotípicos poblacionales por caracteres de semilla25

CAPÍTULO III

- Cuadro 1.** Claves de colecta, origen y nombre común de 75 poblaciones de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación con maíz, en los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala34
- Cuadro 2.** Características fitoquímicas de 75 poblaciones nativas de frijol42
- Cuadro 3.** Composición del grano de frijol común de cuatro estados de la república mexicana45
- Cuadro 4.** Valores de cuatro componentes principales (CP) del análisis descriptivo de 75 poblaciones de frijol, con base en variables morfológicas y parámetros fitoquímicos46

CONTENIDO DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Predominancia de color en testa o epíteto utilizado para definir a 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado, originarias del estado de México, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala21
- Figura 2.** Dispersión de 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado, con base en los dos primeros componentes principales de la combinación de seis características morfológicas de semilla23
- Figura 3.** Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 75 poblaciones nativas de frijol, con base en el análisis de conglomerados de caracteres de semilla. E= Edo. de México, O = Oaxaca, G = Guerrero, T = Tlaxcala24

CAPITULO III

- Figura 1.** Dispersión de 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado, con base en dos primeros componentes principales, con base en características morfológicas y químicas de grano. E = Edo. de México, T = Tlaxcala, G = Guerrero, O = Oaxaca47
- Figura 2.** Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 75 poblaciones nativas, con base en características morfológicas de semilla y parámetros fitoquímicos. E = Edo. de México, T = Tlaxcala, G = Guerrero, O = Oaxaca48

RESUMEN

DIVERSIDAD MORFOLÓGICA Y BROMATOLÓGICA DE 75 VARIEDADES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO, CULTIVADAS EN ASOCIACIÓN CON MAÍZ

Esteli Nilovna Espinosa Pérez

Colegio de Postgraduados, 2014

México es el principal centro de origen, domesticación y diversificación del frijol común, que junto con el maíz, han sido importantes desde la época prehispánica por su valor económico, social, biológico y alimenticio. Además, su grano es un alimento básico por su notable aporte protéico a la dieta humana, sobre todo en poblaciones de bajos recursos, además de que su uso está asociado a factores culturales debido a preferencias locales o regionales específicas. En la actualidad la amplia diversidad fenotípica y genética de estos cultivos se conserva en poblaciones nativas y por los agricultores. Su cultivo se realiza en casi todas las condiciones agroecológicas del país y sistemas de producción, resaltando la asociación maíz-frijol, debido a sus beneficios complementarios. Sin embargo, su potencial nutricional y nutracéutico no se conocen suficientemente. Esta investigación se desarrolló en dos fases: morfológica y bromatológica orientada a parámetros fitoquímicos, con el objetivo de caracterizar 75 poblaciones nativas de frijol común procedentes del centro-sur de México, cultivadas en asociación con maíz. En donde se observó la gran diversidad de la especie a través de poblaciones nativas de distinta procedencia. En características morfológicas se observó diversidad de colores, tipo de semilla y patrones ecogeográficos. El análisis fitoquímico mostró diferencias significativas entre grupos poblacionales, identificándose poblaciones con alto valor nutricional y nutracéutico.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., poblaciones nativas, caracterización morfológica, parámetros fitoquímicos.

SUMMARY

MORPHOLOGICAL AND BROMATHOLOGICAL DIVERSITY OF 75 LANDRACES OF COMMON BEAN FROM SOUTH-CENTRAL OF MEXICO, GROWN UNDER ASSOCIATION WITH MAIZE

Esteli Nilovna Espinosa Pérez

Colegio de Postgraduados, 2014

Mexico is the main center of origin, domestication and diversification of common beans, which joined to maize play an important role since prehispanic times due to economic, social, biological and food value. In addition, this grain is a staple food for its remarkable contribution of protein to human diet, especially population with low incomes populations, besides the use is associated with cultural factors determined by specific local or regional preferences. At current time the wide phenotypic and genetic diversity of these crops is preserved in native populations and by farmers. The cultivation have place almost over all agro-ecological conditions of the country and production systems, highlighting the maize-bean association, as consequence of complementary benefits. However, the nutritional and nutraceutical potential are not enough documented. So, this research was conducted in two phases: morphological and bromatological addressed to phytochemical parameters, in order to characterize 75 native populations of common bean from the south-central Mexico, grown in association with maize. Where a high the great diversity of the specie was recorded throughout of the native populations from different provenance. Colors diversity, seed sizes and ecogeographic patterns were observed. Phytochemical analysis showed significant differences between population groups, identifying populations with high nutritional and nutraceutical value.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., native populations, morphological characterization, phytochemical parameters.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

En diversas investigaciones se intenta clarificar el origen geográfico de la domesticación del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y la mayoría coincide en que fue en Mesoamérica, en este sentido concuerda con la domesticación de maíz y calabaza en el mismo territorio. Por lo que, México es una de las regiones de mayor diversidad genética de las tres especies y consecuentemente, la trilogía integrada por maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus* spp., principalmente el frijol común, *Phaseolus vulgaris* L.) y calabaza (*Cucurbita* spp.), confieren al país un gran potencial de acervos genéticos. Además, los parientes silvestres de estos tres cultivos se encuentran en México y regiones adyacentes. En el caso del frijol común, hay un centro adicional de domesticación en los Andes (López, 2007; Kwak y Gepts, 2009; Kwak *et al.*, 2009).

El frijol, maíz y calabaza se cultivan con frecuencia juntos en el sistema tradicional de cultivo milpa, debido a que se complementan entre sí agronómicamente y como fuente de alimentos. Este sistema es ampliamente utilizado en México así como en América Latina y este de África.

Debido a que Mesoamérica es una de las principales regiones de origen del frijol (*Phaseolus* spp.) y México, uno de los centros de origen y domesticación de *P. vulgaris* (frijol común), se encuentra abundante variabilidad genética en frijol común, silvestre y cultivado, la que se ha clasificado en tres razas del acervo Mesoamericano (Durango, Jalisco, Mesoamérica) y tres del Andino (Chile, Nueva Granada, Perú). Por ello, México es un laboratorio natural para documentar el conocimiento de los sistemas de conservación *in situ* y *ex situ* de *Phaseolus* (Talamantes, 2013; Vargas *et al.*, 2008).

De las 70 especies del género *Phaseolus* que se han encontrado en México, *Phaseolus vulgaris* L. se convirtió en uno de los componentes básicos de la “milpa”, la que además de ofrecer vainas tiernas para consumo inmediato (ejotes) o semillas secas (para almacenamiento y consumo posterior), ayuda a fijar nitrógeno en el suelo que absorbe el maíz para crecer.

La importancia del frijol común en tiempos prehispánicos era tal que, de acuerdo con el Códice Mendocino, los aztecas lo incluían en los tributos exigidos a otros pueblos y nunca desapareció de la dieta nacional durante los 500 años que siguieron. De ese modo ha sido, junto con el maíz, el alimento básico de México y además de su importante contenido de carbohidratos y minerales, se considera la principal fuente de proteínas vegetales en la dieta. Su papel es aún más significativo para los estratos de escasos recursos que no tienen acceso a proteínas de origen animal, y en consecuencia hallan en el frijol estos nutrimentos esenciales.

Hoy día se cultivan en México principalmente las especies *P. vulgaris*, *P. lunatus*, *P. coccineus*, *P. acutifolius* y *P. polyanthus*. Además, se encuentran las poblaciones silvestres que no han sido totalmente clasificadas y en cuya diversidad se distinguen múltiples elementos de la condición silvestre como tamaño y color de semilla, adaptación, capacidad de rendimiento en distintas condiciones e interrelaciones con plagas y enfermedades. La gran diversidad existente explica la distribución de la especie que se encuentra a lo largo y ancho del país, en diferentes altitudes y latitudes, en las más diversas condiciones climáticas y edáficas, así como en múltiples sistemas de producción.

El frijol común es una especie de gran variación en características fenotípicas como son; hábito de crecimiento, tamaño, forma y color de semilla, resistencia o tolerancia a enfermedades y plagas, precocidad y rendimiento. Esa variabilidad influye para que se generen rendimientos importantes en zonas de riego, temporal y humedad residual en todos los estados del país, donde

se cultivan al año 2.3 millones ha, con una producción anual de 1.12 millones toneladas de frijol, cantidad equivalente a 7% de la producción mundial, en la que también destacan India, Brasil, China y Estados Unidos. En estos países se desarrollan programas de mejoramiento genético para obtener variedades con el máximo valor nutricional y atractivo para los consumidores (Barrios *et al.*, 2010).

En México se ha documentado solo parte de la diversidad genética de *P. vulgaris*, pero es tal magnitud y de una dinámica alta que no se conoce con precisión el tipo y magnitud de toda la diversidad genética existente y las relaciones entre poblaciones de diferente origen. No obstante que, la especie ha sufrido un proceso continuo de erosión genética, principalmente debido a la sustitución de cultivos, acervos genéticos nativos y de sistemas de producción, así como al desplazamiento de variedades regionales por mejoradas de mayor demanda comercial. La utilización de germoplasma nativo en programas de mejoramiento de conservación y aprovechamiento, ha sido limitado (Avendaño *et al.*, 2004; Muñoz *et al.*, 2010).

En cualquier programa de mejoramiento la evaluación de la diversidad genética entre las poblaciones o individuos de una misma especie o entre diferentes especies o poblaciones es muy importante para la selección de líneas parentales genéticamente diversas y con ello obtener recombinantes superiores (Vipir, 2008). El análisis de la diversidad genética en *P. vulgaris* se ha realizado con diferentes tipos de marcadores y por aproximaciones sucesivas; esto es a través de descripciones mediante caracteres morfológicos, bioquímicos (incluyendo isoenzimas) y marcadores moleculares, entre estos últimos se encuentran RFLPs, RAPDs, SSR y AFLP, entre otros.

La variabilidad intra e inter específica de *P. vulgaris* ha sido evaluada tradicionalmente mediante características morfológicas y agronómicas (Vidal, 2006). La combinación de los

estudios fenotípicos con las técnicas moleculares ha permitido una mejor descripción y diferenciación, ya que ambos tipos de análisis son complementarios en estudios de diversidad y estructura genética de las poblaciones, lo que ha permitido una mejor orientación de las evaluaciones agronómicas y productivas. En *P. vulgaris* la mayoría de los estudios sobre diversidad genética se han hecho con muestras que representan orígenes geográficos amplios, con la finalidad de identificar grupos fenotípicos o genotípicos en el germoplasma; tal es el caso de grupos genéticos y razas, pero pocos estudios se han orientado a determinar las relaciones genéticas a niveles geográficos de comunidades, municipios o regiones dentro de un mismo grupo genético o fenotípico distintivo (p. ej. frijol negro, amarillo, tipo bayo, etc.).

La caracterización de poblaciones de frijol se ha basado tradicionalmente en la utilización de caracteres fenotípicos como hábito de crecimiento, días a floración y madurez fisiológica, color de flor o semilla, y características asociadas con el rendimiento. Estos caracteres tienen utilidad agronómica, aunque no representan una relación directa entre el genotipo y fenotipo. Las desventajas presentes en los rasgos fenotípicos pueden ser superadas con el uso de marcadores neutrales como las isoenzimas, que se caracterizan por un mayor número de loci independientes (15 a 20), simplicidad y bajo costo; aunque, en contraste, presentan desventajas como un número limitado de loci polimórficos y de alelos por locus, y sensibilidad ambiental, esta última característica puede reducirse mediante la estandarización de las condiciones de trabajo. Las isoenzimas se han aplicado en la caracterización genética de frijol y otras especies emparentadas, para determinar sus relaciones genéticas y para obtener información acerca de los patrones geográficos de distribución de la diversidad.

Estudios de diversidad en México en su mayoría han sido enfocados a la clasificación de especies; por ejemplo, Delgado *et al.* (2004) y Castillo *et al.* (2006) estudiaron la diversidad

morfológica útil para diferenciar la diversidad del *P. vulgaris* y *P. coccineus*, en la región oriental del estado de México. Rocandio *et al.* (2008) evaluaron la diversidad en características de interés agronómico de las poblaciones nativas de frijol común en asociación con maíz; sin embargo, recientemente se han orientado a conocer la diversidad morfológica y genética. Avendaño *et al.* (2004) estudiaron el polimorfismo isoenzimático en poblaciones de frijol negro de diferentes regiones del país, dentro de un enfoque similar al que utilizó Rincón *et al.* (2005) para evaluar la variación isoenzimática en poblaciones de teocintle.

La diversidad genética es la base para la obtención de variedades mejoradas; un elemento básico a través del que, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha generado 142 variedades mejoradas con resistencia a enfermedades y alto rendimiento en condiciones de manejo favorables. Las diferencias en las características del grano han conducido al reconocimiento de clases comerciales como el negro Jamapa, los tipos azufrados y peruanos. No obstante, la diversidad del frijol ha sido subutilizada porque los programas de mejoramiento han privilegiado la obtención de variedades de tipo de crecimiento arbustivo adecuadas para la explotación comercial en monocultivo y dejan de lado el tipo de crecimiento indeterminado propio de los sistemas de policultivo.

La diversidad presente en poblaciones silvestres y cultivadas de frijol representa un recurso importante para el mejoramiento genético, ya que en ellas se encuentran genes de tolerancia a factores adversos como frío, sequía, calor, enfermedades y plagas. Las poblaciones que sobreviven a los factores adversos incrementaron el número de alelos favorables para su adaptación a esas condiciones y pueden utilizarse para ampliar las bases genéticas del frijol cultivado. Además, en el frijol se han identificado poblaciones con características sobresalientes

de mayor calidad de grano, incluyendo altos contenidos de proteínas, hierro y zinc, así como de un balance favorable de aminoácidos.

La mecanización agrícola, característica de los sistemas de cultivo modernos o de monocultivo ha reducido la utilización de variedades de frijol de hábito de crecimiento indeterminado con guías trepadoras, que anteriormente eran sembradas en asociación con maíz, fenómeno que ha reducido la variabilidad genética. Entre los factores que contribuyen a la pérdida de diversidad genética se encuentran la creciente integración de los productores al mercado o cadenas de producción comercial, importaciones, migración, competencia entre variedades modernas y tradicionales, tipo de tenencia de la tierra y aumento de la población humana que ha propiciado el deterioro ambiental. A pesar de estos factores adversos para México, el mejoramiento genético, la variación de los sistemas productivos y las preferencias de la población mexicana han favorecido la persistencia y aún la ampliación de la variabilidad de la especie. Un reto actual para los mejoradores es la recolección, conservación y utilización racional y sustentable de la diversidad genética presente en las formas silvestres y cultivadas del frijol común.

Las leguminosas se caracterizan por tener un alto valor nutritivo y como fuente de carbohidratos, proteínas y fibra dietética, con cantidades significativas de vitaminas y minerales, y alto valor energético. El frijol común es parte de este grupo alimenticio que contiene usualmente de 20 a 30% de proteína, y con un adecuado balance en la composición de aminoácidos, aunque pueden encontrar casos con concentración baja de aminoácidos azufrados (en particular metionina) y algunos en triptófano. El frijol común tiene numerosos beneficios para la salud ya que cuenta con sustancias nutraceuticas como polifenoles, flavonoides, carotenoides y otros compuestos que reducen el riesgo de enfermedades cardiacas y renales, disminuye el índice glucémico en personas con diabetes, reduce los niveles de colesterol en la

sangre, aumenta la saciedad y previene el cáncer (Kaur *et al.*, 2009; Montoya *et al.*, 2010). Sin embargo, el frijol común también contiene factores tóxicos y antinutricionales, como las lectinas, cuya toxicidad inhibe el crecimiento de animales en experimentación y causa diarrea, náuseas, distensión abdominal y vómitos en los seres humanos (Muzquiz *et al.*, 1999); además, las semillas crudas presentan baja digestibilidad, tanto de la proteína como de ácidos grasos.

JUSTIFICACIÓN

A pesar de la amplia diversidad genética con la que cuenta el frijol común, hay un gran número de poblaciones nativas de potencial desconocido. Para garantizar que se promueva este cultivo e incrementar el interés de esta leguminosa, se debe dar a conocer el grado de diversidad intra e inter-específica que existe en las diferentes regiones donde se cultiva, así como la importancia de realizar un proceso continuo de rescate, conservación y aprovechamiento de este tipo de poblaciones autóctonas de hábito indeterminado cultivadas en asociación con maíz.

En México existen pocos estudios que ayuden a conocer con mayor precisión el tipo y la magnitud de la diversidad genética existente y mucho menos en documentar las relaciones entre poblaciones de diferente origen geográfico. Por lo que, la utilización de germoplasma nativo en programas de mejoramiento, conservación y aprovechamiento, ha sido limitada (Avendaño *et al.*, 2004 y Muñoz *et al.*, 2010). Debido a que el frijol común muestra variación amplia en características fenotípicas como hábito de crecimiento, resistencia a enfermedades, precocidad y rendimiento, y forma, tamaño y color de semilla; además de adaptación a diferentes localidades bajo condiciones ambientales y culturales, este recurso genético representa una fuente de variación importante para el desarrollo de nuevas variedades mejoradas con atributos de mayor calidad de grano, adaptación y rendimiento.

El futuro del frijol común en México es incierto, no obstante su importancia económica y social, la superficie dedicada al cultivo y su alto valor nutritivo. La demanda de los consumidores, comercializadores e industria ha fomentado la uniformidad en las variedades comerciales más importantes de México. A pesar de que el frijol es fundamental en la gastronomía mexicana, su cultivo ha sido desplazado, en muchos casos a regiones marginales, lo que ha derivado en pérdidas de diversidad genética, reducción de rendimiento y disminución de competitividad de este cultivo; aunque, en los últimos años su valor comercial se ha incrementado. Esta situación plantea la necesidad de un proceso continuo de conservación y caracterización de la variabilidad morfológica, agronómica, genética y nutricional del frijol común. Así como el estudio y conocimiento de la distribución geográfica de las poblaciones nativas. En algunos casos estas poblaciones deberán seguir un plan de rescate sobre todo en las áreas en que los sistemas de cultivo cambian rápidamente. Alternativamente, es necesario reconocer el amplio potencial de las poblaciones nativas de hábito de crecimiento indeterminado, ya que representan la posibilidad de nuevas opciones para el mejoramiento genético dirigido a la obtención de poblaciones de mayor rendimiento y adaptación. Además, para la agricultura en general, estas poblaciones tienen un potencial en el desarrollo de sistemas de producción novedosos como la producción de ejote en invernadero, en campo con espalderas y en unicultivo, y el mejoramiento de los sistemas de producción asociados; aún más, en el desarrollo de variedades para la obtención de productos orgánicos.

HIPÓTESIS

Las poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) de hábito indeterminado de la región centro-sur de México no presentan diferencias morfológicas y fitoquímicas.

OBJETIVOS

General

Evaluar la diversidad de las poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado de la región centro-sur de México con base en características morfológicas de semilla y parámetros fitoquímicos.

Específicos

Colectar y evaluar diversidad fenotípica con base en características morfológicas de semilla en poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado de la región centro-sur de México.

Evaluar la diversidad fenotípica con base en parámetros fitoquímicos de poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado de la región centro-sur de México.

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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:31-40.

Barrios G E J, C López C, J Kohashi S, J A Acosta G, S Miranda C, N Mayek P (2010) Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol flor de mayo en el centro de México. *Agrociencia* 44:481-489.

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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:111-119.

Delgado S A, R Bibler, M Lavin (2004) Molecular phenology of the genus *Phaseolus* L. (*Fabaceae*). *Bean Improvement Cooperative Annual Report* 47:31-32.

Kaur S, N Singh, N Singh S, J Chand R (2009) Diversity in properties of seed and flour of kidney bean germplasm. *Food Chemistry* 117:282-289.

Kwak M, P Gepts (2009) Structure of genetic diversity in the two major gene pools of common bean (*Phaseolus vulgaris* L., *Fabaceae*). *Theoretical and Applied Genetics* 118:979-992.

Kwak M, J A Kami, P Gepts (2009) The putative Mesoamerican domestication center of *Phaseolus vulgaris* is located in the Lerma-Santiago basin of Mexico. *Crop Science* 49:554-563.

López A D G (2007) Gendered production spaces and crop varietal selection: case study in Yucatán, México. *Singapore Journal of Tropical Geography* 28:21-38.

Montoya C A, J P Lalles, S Beebe, P Leterme (2010) Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research International* 43:443-449.

Muñoz S R (2010) Frijol, rica fuente de proteínas. *CONABIO* 89:7-11.

Muzquiz M, C Burbano, C Ayet, M M Pedrosa, C Cuadrado (1999) The investigation of antinutritional factors in *Phaseolus vulgaris*. Environmental and varietal differences. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 3:210-216.

Ramarachín C I, E Zapata M, V Vázquez G (2001) Gender, rural households, and biodiversity in native Mexico. *Agriculture and Human Values* 18: 85-93.

Rincón E G, P Ramírez V, J J Sánchez G, T A Kato Y (2005) Variación isoenzimática en poblaciones de teocintle. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:105-113.

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. IN: 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.

Talamantes C S (2013) Conservación y aprovechamiento de poblaciones nativas de frijol común del centro-sur de México, cultivadas en asociación con maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Centro de Genética. Chapingo, México. 14-27p.

Vargas V M L P, J S Muruaga M, P Pérez H, H R Gill L, G Esquivel E, M A Martínez D, R Rosales S, N Mayek P (2008) Caracterización morfoagronómica de la colección núcleo de la forma cultivada de frijol común del INIFAP. *Agrociencia* 42:787-797.

Vidal B A, L C Lagunes E, E Valadez M, C F Ortiz G (2006) Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 273-281.

Vipir K, S Sharma, S Kero, S Sharma, A K Sharma, M Kumar, K V Bhat (2008) Assessment of genetic diversity in common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) germplasm using amplified fragment length polymorphism (AFLP). *Scientia Horticulturae* 116:138-143.

CAPÍTULO II

MORFOLOGÍA DE SEMILLA DE POBLACIONES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN DEL CENTRO-SUR DE MÉXICO

RESUMEN

Se evaluó la morfología de semillas de 75 poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de hábito indeterminado (tipo IV), colectadas en los estados de México, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala. Se obtuvo información relacionada con la zona geográfica y aspectos sociodemográficos del agricultor donante. En cada muestra colectada se obtuvieron 10 submuestras de 100 semillas y se evaluó el color predominante o nombre local distintivo, longitud, ancho y grosor de semillas, peso y volumen de 100 semillas, y con estos últimos valores se estimó el peso específico (g/cm^3). La variabilidad evaluada presentó dos patrones ecogeográficos relacionados con los caracteres de semilla. En los análisis de componentes principales y conglomerados, se diferenciaron cinco grupos fenotípicos poblacionales de diversidad; en tres grupos se dividieron a las poblaciones del estado de México y Tlaxcala, uno de ellos se integró con muestras de testa amarilla y las mayores magnitudes en tamaño (16, 11 y 7.4 mm de longitud, ancho y espesor), peso (71.4 g/100 semillas) y volumen ($57.6 \text{ cm}^3/100$ semillas) de grano. El otro gran grupo se conformó, esencialmente, con poblaciones de frijol de grano pequeño colectadas en Guerrero y Oaxaca. Esto dos grandes patrones, indican una divergencia morfológica en semilla y geográfica de origen, entre las poblaciones del estado de México y Tlaxcala (semilla grande), y las poblaciones de Guerrero y Oaxaca (semilla pequeña).

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., divergencias morfológicas y ecogeográficas, morfología, poblaciones nativas.

SEED MORPHOLOGY OF COMMON BEAN LANDRACES FROM THE SOUTH-CENTER OF MEXICO

SUMMARY

Seed morphology of 75 common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) landraces, with indeterminate habit (type IV) was assessed on samples collected in the states of Mexico, Oaxaca, Guerrero and Tlaxcala. Information on geographic zone and sociodemographic aspects from farmer was compiled. In each seed sample, 10 subsamples of 100 seeds were obtained and the predominant color or distinctive local name, length, width and thickness of seeds, weight and volume of 100 seeds were recorded, and with the last two value the specific weight (g/cm^3) was calculated. So, the variability evaluated presented two ecogeographic patterns related with the seed traits. In the principal components and clusters analysis were differentiated five phenotypic population groups; Estate of Mexico and Tlaxcala populations were subdivided into three groups, one of them grouped samples with yellow test and the highest magnitudes of seed in size (16, 11 and 7.4 mm de length, width and thickness), weight (71.4 g/100 seeds), and volume ($57.6 \text{ cm}^3/100$ seeds). Other group was integrated, essentially, with bean populations of small grain collected in Guerrero and Oaxaca. This two groups of major number of accessions, indicated morphological divergence in seed traits and geographic origin, between the populations of state of Mexico and Tlaxcala (bigger seed) and the populations from Guerrero and Oaxaca (small seed).

Keywords: *Phaseolus vulgaris L.*, morphological and geographic divergences, morphology, landraces.

INTRODUCCIÓN

En un periodo de 7000 a 8000 años, con la influencia de la mutación, migración, deriva genética y selección empírica practicada por el hombre, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L., *Fabaceae*) transitó de la forma silvestre de hábito trepador y semillas pequeñas distribuida en las tierras altas de Mesoamérica y zona Andina, a la forma actual que se siembra en diversos ambientes y sistemas de producción, y produjo cambios morfológicos, fisiológicos y genéticos en la especie. En los aspectos morfológicos, el hombre centró su atención en semillas de mayor tamaño y de colores más atractivos, vainas más grandes y menos dehiscentes; adicionalmente, ocurrió la aparición de formas arbustivas y moteado de la testa en la semilla (Lépiz *et al.*, 2010).

El cultivo de frijol (*P. vulgaris* L.) en México tiene gran tradición, la que se remonta a tiempos prehispánicos, y presenta amplia diversidad de formas silvestres y cultivadas. Si bien la mayor diversidad se distribuye en la Sierra Occidental entre 500 y 1800 m de altitud; su cultivo se realiza extensivamente en casi todas las condiciones agroecológicas del país y sistemas de producción (Vidal *et al.*, 2006).

En cultivo de frijol prevalece en los sistemas tradicionales de producción de Valles Altos, regiones de altura intermedia y baja del centro-sur de México; estas últimas principalmente en agricultura de subsistencia y en comunidades de alta marginación, que en conjunto representan grandes áreas de producción. Aunque la extensión ocupada con estos sistemas se desconoce con precisión, se estima en seis millones de hectáreas y en dos millones el número de familias campesinas ocupadas en esta actividad (Bellon, 2009). A pesar de la importancia económica y ecológica de estos sistemas, la información acerca del valor agronómico y nutricional de las poblaciones nativas de frijol común, así como el grado de la diversidad intra e inter-específica en las diferentes regiones, es escasa, dispersa y poco sistematizada. Además, los programas de

investigación son limitados en sus objetivos porque no contemplan el aprovechamiento en forma directa o como fuentes de genes. Los cambios socioeconómicos y culturales ocurridos en las regiones donde se cultiva la diversidad de *P. vulgaris*, ponen en riesgo la pérdida de estos acervos genéticos y sus sistemas de producción asociados. Además de que estas poblaciones nativas, preservadas por los pequeños agricultores, han sido poco estudiadas. Esta situación resalta la necesidad de conocer la variación y diversidad, tanto genética como morfológica, que ayude a definir estrategias de rescate, conservación y aprovechamiento de las poblaciones autóctonas de hábito indeterminado (tipo IV), cultivadas en asociación con maíz (Nadal, 2000; Salinas *et al.*, 2008).

Entre los factores que inciden la pérdida de diversidad genética de *P. vulgaris*, se encuentran la substitución de poblaciones nativas por nuevas variedades nacionales o importadas, fenómenos meteorológicos, cambios en los sistemas de producción y uso de la tierra, y abandono de tierras o de la actividad agrícola. Estas amenazas a la diversidad remarcan la necesidad de realizar un proceso continuo de conservación, caracterización morfológica, agronómica y genética del germoplasma, así como de la distribución biogeográfica de las poblaciones nativas, sobre todo por la irreparable pérdida del germoplasma nativo (Bellon y Berthaud, 2006).

Esos sistemas de producción tradicional se basan fundamentalmente en el uso de la diversidad de poblaciones nativas de frijol y otras especies nativas, que se caracterizan por amplia diversidad en morfotipos de planta, frutos y semillas, tolerancia a plagas y enfermedades (co-evolución), adaptación a condiciones edáficas restrictivas o de estrés y culturales específicas, teóricamente prevalece un número infinito de fenotipos y genotipos mantenidos por cruzamiento natural, aportan los mecanismos de amortiguamiento de los efectos negativos de los factores

abióticos y bióticos, y tienen un alto valor nutricional (proteína), regional y local para satisfacer diversas necesidades de las comunidades rurales (López *et al.*, 2005; Castillo *et al.*, 2006).

En particular las poblaciones de frijol de hábito indeterminado que se cultivan en asociación con maíz y otras especies, se caracterizan por su riqueza genética, la que es generada y conservada por numerosas generaciones de agricultores, y por tanto asociada al conocimiento tradicional, tienen alto potencial de producción en condiciones óptimas de cultivo (humedad, temperatura y suelo), posee amplia diversidad genética, fenotípica, adaptabilidad y rusticidad. No obstante, se ve afectada por la erosión genética severa que se acrecienta con la substitución de variedades comerciales y áreas de producción, fenómenos socio-culturales de cambios en preferencias alimenticias y cambios del sistema de producción multicultivo a monocultivo comercial. Adicionalmente, algunas poblaciones de frijol tienen un alto valor agregado, aprovechamiento en forma de ejote (frutos frescos). En el mejor de los casos, estas poblaciones han sido subutilizadas o subvaloradas en el mejoramiento genético (ausencia de variedades mejoradas con acervos genéticos actuales), y se requieren estudios sistemáticos orientados a la conservación y aprovechamiento *in situ* en México.

En este contexto, se planteó el objetivo de describir y clasificar los patrones de variabilidad morfológica de una colección de 75 poblaciones nativas de frijol común de hábito indeterminado, de cuatro regiones del centro-sur de México, con base en caracteres de semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 75 poblaciones nativas de frijol común colectadas, en cuatro estados del centro-sur de México (Cuadro 1), directamente con agricultores: 45 del estado de México, incluidas

cuatro de Morelos como parte de la misma región ecológica, 10 de la montaña de Guerrero, 15 de la Mixteca oaxaqueña y 5 de Tlaxcala, entre los municipios de Españita y Vicente Guerrero. En estas regiones el frijol se cultiva en sistemas múltiples y complejos de asociación, donde el maíz es el eje principal.

Durante la colecta de germoplasma, se integró una base de datos pasaporte de cada población, a partir de la aplicación de cuestionarios a productores(as) donantes de la muestra y excepcionalmente vendedores locales en los mercados regionales. En la información base se registró la ubicación geográfica, nombre del agricultor o colaborador, localidad, municipio y estado. Adicionalmente, cuando fue posible, se obtuvo información sobre las condiciones de cultivo, forma de conservación de la población o lote de semilla, manejo agronómico y aspectos relacionados con manejo de semillas. La colecta de muestras de semillas se orientó a obtener una representatividad de diversidad en colores, tamaños y formas de semilla.

Una vez que se obtuvo la muestra poblacional, las variables morfológicas evaluadas en semilla fueron: longitud (cm), anchura (cm), grosor (cm), peso de 100 semillas (g), volumen de 100 semillas (cm^3), peso específico (g/cm^3) y predominancia del color de testa o epíteto para definir la población. De cada población se tomaron 10 muestras aleatorias de 100 semillas y se estimó la longitud, ancho y grosor de semilla. El peso y volumen se obtuvieron por muestra individual; el volumen se obtuvo por el método de desplazamiento de agua con pesos de 100 g de semilla, mediante una probeta de vidrio.

Cuadro 1. Claves de colecta, origen y nombre común de 75 poblaciones de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación con maíz, en los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala.

Colecta	Localidad de origen	Entidad	Nombre Común
E1	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Rojo o Vaquita
E2	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo Bola
E3	San AndresTlalamac	Estado de México	Flor de Mayo
E5	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Revuelto
E6	Atlatlahuacan	Morelos	Colado
E7	Atlatlahuacan	Morelos	Vaquita
E8	Nepantla	Estado de México	Amarillo
E9	Nepantla	Estado de México	Amarillo
E10	Nepantla	Estado de México	Vaquita
E11	Tepetlixpa	Estado de México	Amarillo Bola
E12	Totolapa	Morelos	Apetito
E13	Totolapa	Morelos	Cacahuate
E14	San José Tlacotitlan	Estado de México	Amarillo
E15	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
E17	San AndresTlalamac	Estado de México	Garrapato
E18	San AndresTlalamac	Estado de México	Vaquita
E19	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Amarillo
E20	San AndresTlalamac	Estado de México	Flor de Mayo
E21	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Color de Rosita
E22	San AndresTlalamac	Estado de México	Rojo
E23	Cuijingo	Estado de México	Coconita
E24	Nepantla	Estado de México	Flor de Mayo
E25	San AndresTlalamac	Estado de México	Vaquita
E26	San AndresTlalamac	Estado de México	Torito
E27	San AndresTlalamac	Estado de México	Garrapato o Morito
E28	San AndresTlalamac	Estado de México	Colorado
E29	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo
E30	Nepantla	Estado de México	Palacio
E31	Nepantla	Estado de México	Vaca
E32	San José Tlacotitlan	Estado de México	Negro Bola
E33	San José Tlacotitlan	Estado de México	Media oreja
E34	Atlautla	Estado de México	Amarillo
E35	Nepantla	Estado de México	Palacio
E36	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo
E37	San AndresTlalamac	Estado de México	Apetito
E38	San Lorenzo Tlaltecoyac	Estado de México	Negro Bola
E39	Juchitepec	Estado de México	Color de Rosa
E40	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Senete o Cabeza de Ahuate
E41	Tepetlixpa	Estado de México	Rojo
E42	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
E43	San Mateo Tecalco	Estado de México	Frijol Negro

E44	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Mezcla Palacio – Amarillo
E45	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Alubia o Novia
E46	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo Ovalado
E47	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo Boludo
O9	Chamizal	Oaxaca	Negro Ejotero
O28	Barrio San SebastianTlaxiaco	Oaxaca	Frijol Colorado
O29	Santa Lucrecia	Oaxaca	Frijol Tempranero
O33	Santa Catarina Ticua	Oaxaca	Revuelto
O35	Primavera Santiago Yosondua	Oaxaca	Revuelto
O36	San Martin Huamelulpan	Oaxaca	Tempranero Blanco
O38	Totonando	Oaxaca	Tempranero
O39	San Pedro Molinos	Oaxaca	Frijol de Ejote
O40	Santa MariaTataltepec	Oaxaca	Frijol Blandito Rojo y Negro
O42	Santa MariaTataltepec	Oaxaca	Negro o Frijol Grueso
O43	Santa Catarina Tayata	Oaxaca	Frijol Colorado
O45	Haquiniyiqui	Oaxaca	Negro Ayocote
O46	Haquiniyiqui	Oaxaca	Cuarenteño
O49	Primavera Santiago Yosondua	Oaxaca	Ejote Suave
O51	San Isidro	Oaxaca	Amarillo
G87	Almolonga	Guerrero	Frijol Rojo
G94	Chilacachapa	Guerrero	Pintito de Vara
G96	Zoquiapan	Guerrero	Frijol negro de Vara
G97	Zoquiapan	Guerrero	Negro de Vara o Milpa
G99	Santa Ana	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G103	El Refugio	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G118	Las Trancas	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G120	Las Trancas	Guerrero	Rojo de Cascara Dura
G129	Zompepelco	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G137	El Nuevo Paraíso	Guerrero	Frijol Blanco Enredador
T1	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
T2	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Vaquita
T3	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Moradito o Morita
T4	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
T5	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Pinto

Análisis estadístico

Se hizo un análisis gráfico descriptivo a la base de datos de color de las muestras poblacionales, y a los promedios estandarizados de la descripción de semilla por población, se aplicó un análisis de componentes principales (CP) mediante la matriz de varianzas y covarianzas. Las disimilitudes se determinaron mediante un análisis de conglomerados

jerárquico por el método de Ward y se graficó en un dendrograma. Una vez determinados los grupos fenotípicos se hizo un análisis de varianza y comparación de medias por el método de Tukey ($p < 0.05$) para probar las diferencias entre grupos. Los análisis estadísticos se realizaron con los programas Infostat y SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la diversidad de frijol colectada, destacó la preferencia que se tiene en cada zona geográfica respecto al color y tamaño de la semilla, lo que se reflejó en la frecuencia de colores o nominaciones frecuentes utilizadas para diferenciarlos (epítetos). En la muestra colectada se reunieron 13 diferentes colores de testa y/o nombres comunes para diferenciar las poblaciones (Figura 1). Los colores predominantes fueron amarillo y el vocablo ‘ensaladilla’ (mezcla de tipos y colores de semilla) con una frecuencia de 18.7%, seguido rojo (12%), negro y ‘vaquita’, ambos con 10.7%. En el grupo de frecuencia intermedia se encuentra el ‘multicolor’ (varios colores) con 5.3%, y seguido de café, lila, beige (naranja muy claro u ocre castaño claro) y flor de mayo con 4%. Los colores menos frecuentes fueron la ‘alubia’ (blanco), ‘garrapato’ y ‘torito’ con frecuencia final del 2.7%. En otros estudios, se encontró que el color negro predominó y esto se ha atribuido a la fuerte demanda que tiene en el mercado (Muñoz *et al.*, 2009). La combinación denominada ‘ensaladilla’, los agricultores argumentaron que es la forma más recomendada para obtener cosecha de manera segura. En el caso del estado de México el principal color fue el amarillo, en Guerrero fue rojo, en Oaxaca fue ‘ensaladillas’, y finalmente en Tlaxcala fue beige.

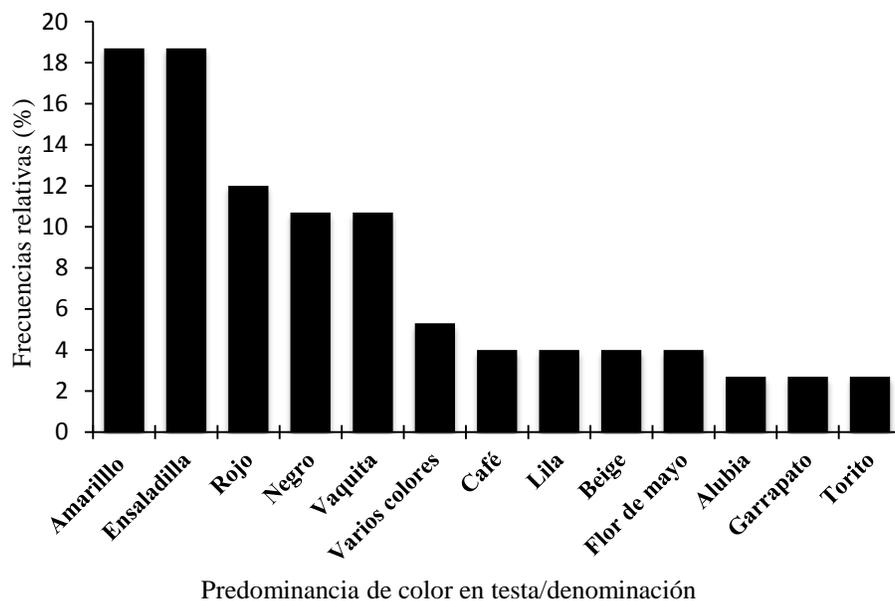


Figura 1. Predominancia de color en testa o epíteto utilizado para definir a 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado, originarias del estado de México, Morelos, Guerrero, Oaxaca y Tlaxcala.

Las variaciones en morfología de semilla ayuda a definir patrones de origen ecogeográfico de las muestras, y aporta elementos para establecer hipótesis de diferenciación genética de los acervos de frijol que conservan los agricultores. En el análisis de componentes principales (CP), los dos primeros (CP1 y CP2) explicaron 95.5% de la variación total. Las características de mayor importancia en la explicación del CP1 fueron longitud, anchura, peso y volumen de semillas, y en el CP2 longitud y grosor de semilla (Cuadro 2).

Cuadro 2. Vectores y valores propios del análisis de componentes principales (CP), con base en seis variables descriptivas de semilla de 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado.

Característica evaluadas	CP1	CP2
Longitud de semilla	0.349	-0.659
Ancho de semilla	0.422	0.089
Grosor de semilla	0.218	0.744
Peso de 100 semillas	0.591	0.014
Volumen de 100 semillas	0.551	0.041
Peso específico (g/cm ³)	0.010	-0.038
Valor propio	0.073	0.009
Variación explicada (%)	85.0	10.5
Variación acumulada (%)	85.0	95.5

La distribución espacial de las poblaciones, con base en los dos primeros componentes principales (Figura 2), mostró diferentes patrones de variación entre y dentro entidades federativas de origen de las muestras, con base en morfología de semilla. Las poblaciones con mayor tamaño, peso y volumen de semilla fueron colectadas en el estado de México (Cuadrante II, en orden de giro de las manecillas del reloj). En el lado opuesto (cuadrante IV), la poblaciones se dispersaron un grupo de poblaciones de Oaxaca, Guerrero, Tlaxcala y algunas del estado de México. La mayoría de poblaciones de Oaxaca son de grosor intermedio (cuadrante I). En este caso, el tamaño, peso y volumen de grano son caracteres relativamente fáciles de observar y diferenciar, y son sujetos de selección por los agricultores; aunque, no se descarta que en las decisiones de selección estén influyendo la adaptación agroecológica, caracteres asociados, resistencia a plagas del almacén, sabor y cocción (Solano *et al.*, 2009).

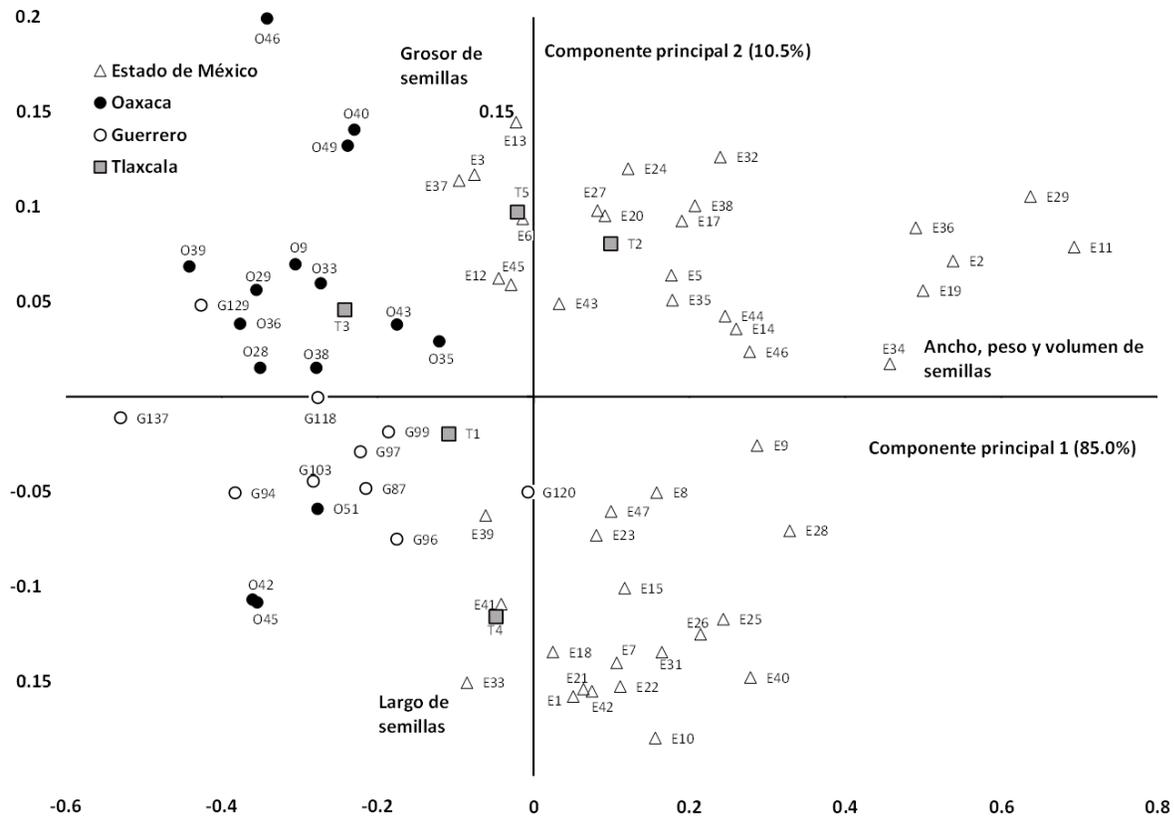


Figura 2. Dispersión de 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado, con base en los dos primeros componentes principales de la combinación de seis características morfológicas de semilla.

En el análisis de conglomerados se determinó la conformación de cuatro grupos a una distancia euclídeana de 2.0 (Figura 3). El grupo I estuvo integrado por dos subgrupos de poblaciones colectadas en el estado de México. En el grupo II también se agruparon poblaciones del estado de México pero dentro de este grupo se incluyeron a cuatro poblaciones de Tlaxcala, dos de Oaxaca y una de Guerrero. El grupo III estuvo integrado esencialmente por poblaciones con grano amarillo que fueron colectadas en el estado de México. Finalmente, el grupo IV aglomeró al mayor número de poblaciones de Oaxaca y Guerrero. Los resultados muestran que los caracteres de semillas ayudaron a diferenciar las poblaciones por origen geográfico y se diferencia con gran precisión las poblaciones de Guerrero y Oaxaca.

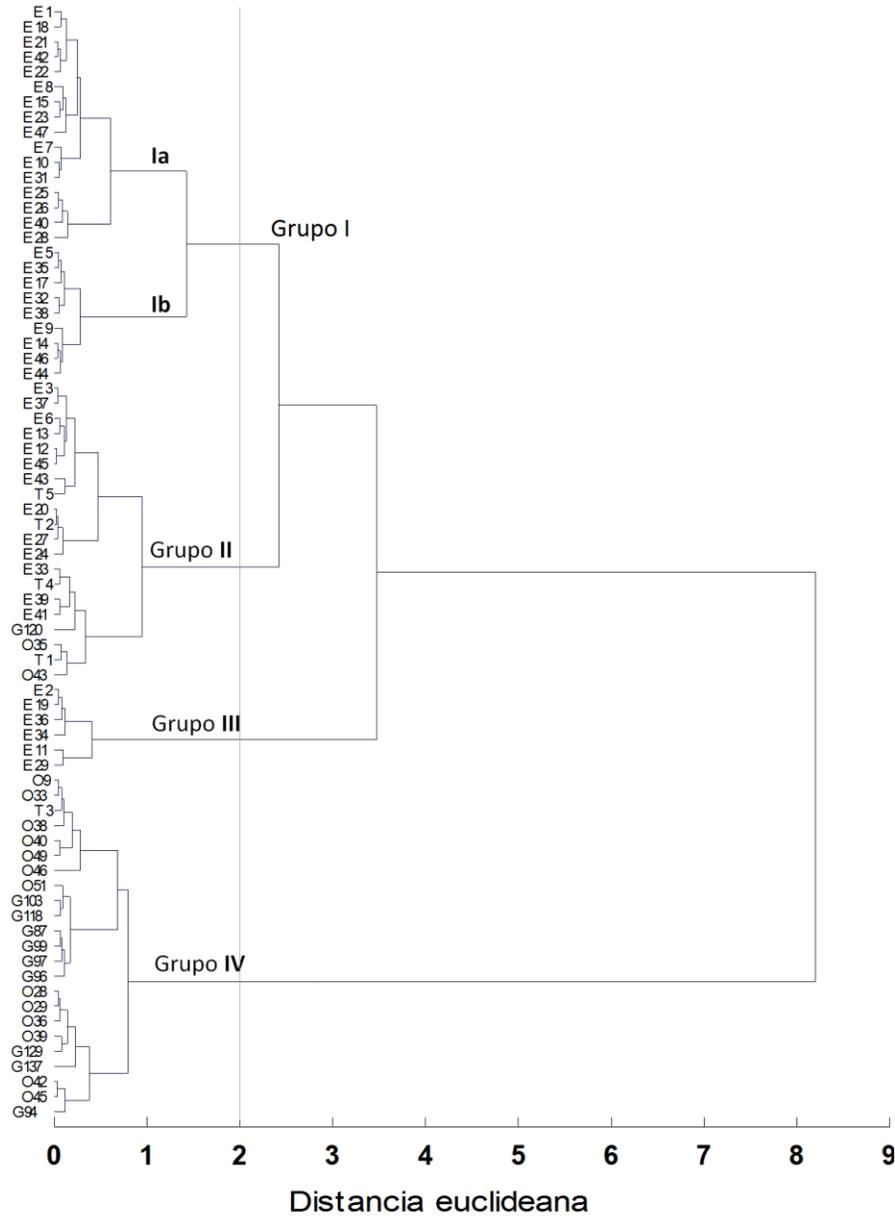


Figura 3. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 75 poblaciones nativas de frijol, con base en el análisis de conglomerados de caracteres de semilla. E= Edo. México, O = Oaxaca, G = Guerrero, T = Tlaxcala.

En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre grupos fenotípicos para todas las características evaluadas (Cuadro 3). La comparación de medias permitió determinar las diferencias entre grupos. En este sentido se puede afirmar que el grupo III de grano amarillo del estado de México presente, en promedio, los mayores valores de

longitud, ancho, grosor y volumen de semilla. El orden de tamaño, peso y volumen de grano le siguen las poblaciones agrupadas en los subgrupos Ia y Ib, y grupo II, respectivamente, donde también predominan los materiales del estado de México. Así, en el extremo opuesto, las poblaciones de menor tamaño, peso y volumen correspondieron a las que fueron colectadas en Guerrero y Oaxaca.

Cuadro 3. Comparación de grupos fenotípicos poblacionales por caracteres de semilla.

Grupo fenotípico	Longitud de semilla (cm)	Ancho de semilla (cm)	Grosor de semilla (mm)	Peso de 100 semillas (g)	Volumen de 100 semillas (cm ³)	Peso específico (g/cm ³)
Cuadrado medio	0.582**	0.291**	0.050**	2620.724**	1614.400**	0.007**
Coef. variación (%)	6.1	5.7	8.1	8.6	9.5	3.1
Comparación de promedios:						
Ia	1.6 a	0.9 c	5.6 c	51.0 b	39.5 c	1.3 a
Ib	1.4 b	1.0 b	6.6 ab	55.0 b	43.6 b	1.3 ab
II	1.3 c	0.9 c	6.2 b	42.8 c	33.6 d	1.3 ab
III	1.6 a	1.1 a	7.1 a	71.4 a	57.6 a	1.2 b
IV	1.1 d	0.7 d	5.5 c	30.8 d	24.8 e	1.2 b

Los resultados muestran dos patrones diferenciales en tamaño, peso y volumen de semilla, uno de semillas de tamaño medio a grande, conformando tres grupos de poblaciones de frijol del estado de México y Tlaxcala, y por otro lado, las de grano pequeño provenientes de Guerrero y Oaxaca. Esto es, el aislamiento geográfico, condiciones agroecológicas de cultivo y manejo del agricultor, tienden a diferenciar las poblaciones. Estos patrones de variación de semilla coinciden con el grupo de forma cultivadas descritas por Lépiz *et al.* (2010); 12.4, 9.0 y 6.8 mm de longitud, ancho y grosor, respectivamente. En este trabajo, la variación entre grupos fue de 11 a 16, 7 a 11 y 5.5 a 7.1 en longitud, ancho y grosor, respectivamente.

Rocandio *et al.* (2009) determinaron en poblaciones de frijol del estado de México, un peso promedio de 16.9 y 42.0 g de 100 semillas pequeñas y grandes, respectivamente. En este mismo sentido, una colección de frijol común evaluada por Vargas *et al.* (2008), determinaron una variación promedio de 13 a 55 g/100 semillas. Los resultados aquí presentados (Cuadro 4) muestran que el grupo de poblaciones de grano pequeño presentaron un promedio de 30.8 g y en el grupo de semillas grandes fue 71.4 g/100 semillas; esto indica, que en las poblaciones colectadas frijol de crecimiento indeterminado existe un potencial genético que puede ser explotado en un programa de mejoramiento genético o bien su uso directo con algún esquema de selección y limpieza de semilla.

CONCLUSIONES

En las poblaciones nativas de frijol de crecimiento indeterminado, se determinó una alta variabilidad de colores y nombres locales en que los agricultores las distinguen y también en caracteres de largo, ancho, grosor, peso y volumen de la semilla. La variabilidad evaluada presentó dos patrones ecogeográficos relacionados con los caracteres de semilla. En los análisis de componentes principales y conglomerados, se diferenciaron cinco grupos fenotípicos poblacionales de diversidad; en tres grupos se dividieron a las poblaciones del estado de México y Tlaxcala, uno de ellos se integró con muestras de testa amarilla y las mayores magnitudes en tamaño (16, 11 y 7.1 mm de longitud, ancho y grosor), peso (71.4 g/100 semillas) y volumen (57.6 cm³/100 semillas) de grano. El otro gran grupo se conformó, esencialmente con poblaciones de frijol de grano pequeño colectadas en Guerrero y Oaxaca. Estos dos grandes patrones, indican una divergencia morfológica en semilla y geográfica de origen, entre las poblaciones del estado de México y Tlaxcala (semilla grande), y las poblaciones de Guerrero y

Oaxaca (semilla pequeña). Además, los resultados muestran una amplia variabilidad en características de semilla que puede explotarse en algún programa de mejoramiento genético o uso directo, en el caso de las semillas de mayor tamaño.

BIBLIOGRAFÍA

Bellon R M, J Berthaud (2006) Traditional mexican agricultural systems and the potential impacts of transgenic varieties on maize diversity. *Agriculture and Human Values* 23:3-14.

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, D.F. 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:111-119.

Lépiz I R, J J López A, J J Sánchez G, F Santacruz R, R Nuño R, E Rodríguez G (2010) Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:21-28.

López S J L, J A Ruiz C, J J Sánchez G, R Lépiz I (2005) Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:221-230.

Muñoz-Velázquez E E, D Rubio-Hernández, I Bernal-Lugo, R Garza-García, C Jacinto-Hernández (2009) Caracterización de genotipos de frijol del estado de Hidalgo con base a calidad del grano. *Agricultura Técnica en México* 35(4):426-435.

Nadal A (2000) The environmental and social impact of economic liberation 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 Gómez E (2009) Diversidad en características de interés agronómico de poblaciones nativas de frijol común en asociación con maíz. In: 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 P R A, J A Acosta G, E López S, C Torres E, F J Ibarra P, R Félix G (2008) Rendimiento y características morfológicas relacionadas con tipo de planta erecta en frijol para riego. Revista Fitotecnia Mexicana 31:203-211.

Singh S P, J A Gutiérrez, A Molina, C Urea, P Gepts (1991) Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker based analysis of morphological and agronomic traits. Crop Science 31:23-29.

Solano C F, R. Díaz R, C. Jacinto H, L. Aguirre A, A. Huerta P (2009) Prácticas agrícolas, descripción morfológica, proteínica y culinaria del grano de cultivares de frijol sembrados en la región de Tlatzala, Guerrero. Ra Ximhai 5:187-199.

Vargas V M L P, J S Muruaga M, P Pérez H, H R Gill L, G Esquivel E, M A Martínez, R Rosales S, N Mayek P (2008) Caracterización morfoagronómica de la colección núcleo de la forma cultivada de frijol del INIFAP. Agrociencia 42:787-797.

Vidal B A, L C Lagunes E, E Valadez M, C F Ortiz G (2006) Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29:273-281.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN BROMATOLÓGICA DE POBLACIONES NATIVAS DE FRIJOL

COMÚN

RESUMEN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) tiene gran valor alimenticio en sus propiedades nutritivas y nutracéuticas. El mejoramiento genético del cultivo se ha enfocado a desarrollar variedades con alto rendimiento y resistencia a patógenos, pero sin considerar la calidad nutricional. Se evaluó el contenido de proteína, lectinas, ácido fítico (AF) y taninos en 75 poblaciones nativas de frijol común, en tres repeticiones de laboratorio. Los parámetros fitoquímicos se analizaron estadísticamente mediante un modelo lineal de un diseño completamente al azar, un análisis de componentes principales y conglomerados. El análisis de varianza detectó diferencias significativas entre grupos poblacionales, en contenido de proteína, lectinas y taninos. Las poblaciones de frijol de Guerrero presentaron mayor contenido en todos los parámetros evaluados, las del estado de México presentaron menor contenido de lectinas, Tlaxcala menor contenido de proteína, y Oaxaca estuvo intermedio en todos los parámetros. La divergencia fenotípica entre poblaciones estuvo determinada por el contenido de proteína, taninos y lectinas e indicó alta variación de las poblaciones nativas en valor nutricional y nutracéutico. El análisis de conglomerados se determinaron cinco grupos fenotípicos: uno fue integrado por dos poblaciones de Oaxaca, dos grupos por poblaciones de Guerrero y Oaxaca y dos grupos del estado de México, con base en caracteres morfológicos de semilla y estimadores fitoquímicos de composición del grano.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, fitoquímicos, poblaciones nativas, divergencias fenotípicas.

NATIVE POPULATIONS BROMATOLOGICAL ASSESSMENT OF COMMON BEAN

SUMMARY

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) has high nutritional value on base to nutritive and nutraceutical properties. Plant breeding have focused its objectives to develop varieties with high yield and pathogens resistance, but without consider the nutritional quality. Proteins, lectins, phytic acid and tanins content was evaluated in 75 native populations of common bean, using three laboratory replicates. Phytochemical parameters were analyzed by a lineal model of completely random design, a principal component and cluster analysis. Significant differences among populations and origins were determined in protein, lectins and tanins. Bean populations from Guerrero presented major content over all parameters evaluated. Tlaxcala showed lower protein content and Oaxaca populations were intermediate. Phenotypic divergence among populations was determined by protein, tanins and lectins, and such patterns indicated that among native populations there is high variation nutritional and nutraceutical values. Five phenotypic groups were determined in the cluster analysis: one of them grouped two populations from Oaxaca, two groups were integrated with populations from Guerrero and Oaxaca, and two groups only with populations from state of Mexico, on base to morphological traits of seed and phytochemical estimators of grain composition.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, phytochemicals, native populations, phenotypic divergences.

INTRODUCCIÓN

Las leguminosas, a las que pertenece el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), son ampliamente cultivadas en el mundo y es la fuente de proteína más importante para clases sociales de bajos ingresos. También agregan variedad a la dieta humana y son una fuente barata de hidratos de carbono (alto valor energético), proteínas y fibra dietética, y cantidades importantes de vitaminas y minerales (Kaur *et al.*, 2009).

P. vulgaris es una leguminosa importante para el consumo humano, es altamente variable en morfología de planta, tallo, vainas y semillas, usos y formas de cultivo (Pinheiro *et al.*, 2010); y es la que más se produce y consume en África, India, América Latina y en México. El grano de frijol contiene de 20 a 30% de proteína, con alta disponibilidad de aminoácidos, excepto metionina y triptófano (Kaur *et al.*, 2009). El contenido de fibra soluble es de particular interés, ya que disminuye los niveles de colesterol en la sangre y reduce los requerimientos de insulina, es una fuente de fósforo y hierro y otros minerales, así como de vitaminas hidrosolubles como tiamina, niacina y ácido fólico y en menor medida de riboflavina y vitamina B₆ (Paredes *et al.*, 2006; Montoya *et al.*, 2010).

El consumo de este grano tiene numerosos beneficios para la salud, como la protección contra enfermedades de colon, reducción de padecimientos renales y corazón, disminución de colesterol e índice glucémico en personas diabéticas, aumento de la saciedad y prevención de ciertos tipos de cáncer (Kaur *et al.*, 2009).

En la dieta del mexicano, el bajo contenido de metionina y cisteína del frijol se contrarrestan con el consumo de maíz, el que a su vez presenta bajas concentraciones de lisina; de tal manera que, el valor nutricional del consumo combinado de maíz y frijol es mejor que de forma independiente (Paredes *et al.*, 2006). Debido a que el frijol contiene factores anti-nutricionales,

como promotores de flatulencia, inhibidores de proteasas y factores tóxicos (lectinas); a pesar de que son desactivados con la cocción, es necesario ampliar la información sobre la composición del grano tanto en las poblaciones nativas como en las variedades comerciales de frijol (Jansman *et al.*, 1998), y sobre todo en potencial de las poblaciones nativas para el mejoramiento genético y con ello dilucidar cualquier elemento de desventaja nutritiva.

Las lectinas (glicoproteínas) son el principal componente tóxico del grano de *P. vulgaris*, y aglutinan eritrocitos en forma similar a los anticuerpos y tienen marcada especificidad. La toxicidad de lectinas se ha caracterizado experimentalmente por la inhibición del crecimiento en ratones. En seres humanos causan diarrea, náuseas, distensión abdominal y vómitos, como consecuencia de la intensa inflamación de la mucosa intestinal, destrucción del epitelio y edema. Las lectinas reaccionan con criptas y vellos intestinales y ocasiona interferencia no-específica con la absorción de nutrimentos (Muzquiz *et al.*, 1999; Jaffé, 2008). Los consumidores de leguminosas saben que es necesaria la inactivación térmica (cocción prolongada) de los factores anti-nutricionales y tóxicos de origen proteínico; ya que son factores tóxicos termolábiles. En este sentido es necesario tener cuidado, ya que el calentamiento severo puede dañar la calidad nutritiva de la proteína; razón por la que, se recomienda remojar en agua durante la noche para reducir el tiempo de cocción y evitar la disminución del valor protéico y vitamínico (Paredes *et al.*, 2006).

El ácido fítico (AF) en las plantas está presente en forma de fitato y constituye la mayor proporción del fósforo. En granos de cereales, oleaginosas y leguminosas, los niveles del ácido fítico son elevados, de 60 a 82% del fósforo total, y en otras partes de la planta se encuentra de 0.1 a 6 %. En granos y semillas los niveles son elevados, en tubérculos, raíces y frutas los contenidos son moderados y en verduras son bajos. El AF confiere propiedades nutraceuticas al

frijol, su consumo en bajas concentraciones retarda la digestibilidad del almidón, disminuye la glucosa en sangre (hipoglucemia), previene cálculos renales, controla caries dental, cáncer y mejora la captación de oxígeno en glóbulos rojos. Además, posiblemente previene diversas patologías cardíacas por el control de hipercolesterolemia y arteriosclerosis. También, se ha indicado su papel como antídoto en la intoxicación aguda por plomo (Rickard and Thompson, 1997; Bernal *et al.*, 2007).

Otros componentes anti-nutricionales del frijol común son los taninos o posibles polifenoles, por su efecto negativo sobre la digestibilidad de proteínas y biodisponibilidad de minerales. En granos de leguminosas, se encuentran en la cubierta, en concentraciones de 2%, expresados como equivalentes de catequinas (del grupo de antocianidinas) o ácido tánico. El frijol común presenta alta variabilidad genética en contenido de taninos relacionados con el color de la semilla, en granos blancos tienen bajos niveles de taninos pero en negros y rojos es mayor; aunque, entre granos del mismo color la variabilidad también es alta (Shaidi, 1997).

Los taninos son metabolitos secundarios de las plantas, y llaman la atención por su actividad antioxidantes porque capturan a los radicales libres, entre ellos los agentes causales del cáncer (Paredes *et al.*, 2006). En contraste, los efectos adversos de los taninos se atribuyen a su capacidad para interferir con enzimas digestivas, de tal manera que, dietas elevadas en taninos producen disminución de peso en animales de laboratorio, baja capacidad de digestión de proteínas y un aumento del nitrógeno en heces (Parr, 2000).

En los programas de mejoramiento genético, las características agronómicas asociadas al rendimiento han sido priorizadas en detrimento de la atención a los caracteres de mayor valor nutricional; en consecuencia, no se cuenta con variedades de alta calidad nutricional y nutraceutica (Graham *et al.*, 1999; González, 2009). Por lo tanto, es relevante ampliar el

conocimiento sobre las propiedades nutritivas del grano de frijol, ya que se han reconocido efectos benéficos de dietas bajas en grasa y alto contenido de fibra. Por lo anterior, este estudio tuvo como objetivo evaluar la variabilidad en contenidos de proteína total, lectinas, ácido fítico y taninos en 75 poblaciones nativas de frijol común, y sus relaciones con los valores nutricionales y nutraceuticos.

MATERIALES Y METÓDOS

La semilla de las poblaciones nativas de frijol evaluadas en este estudio se enlista en el Cuadro 1, en función del origen: 45 poblaciones del estado de México, 15 Oaxaca, 10 de Guerrero y 5 de Tlaxcala. Para el análisis químico de cada población, se tomó una muestra de 20 g de semilla, se molieron por aproximadamente un minuto en un molino marca Braun Aromatic KSM2. La harina obtenida se sometió a los diferentes análisis con tres replicas por muestra en cada determinación, como se describe a continuación.

Cuadro 1. Claves de colecta, origen y nombre común de 75 poblaciones de frijol de tipo indeterminado cultivadas en asociación con maíz, en los estados de México, Morelos, Oaxaca, Guerrero y Tlaxcala.

Colecta	Localidad de origen	Entidad	Nombre Común
E1	Cucuecuautila (El Pueblito)	Estado de México	Rojo o Vaquita
E2	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo Bola
E3	San AndresTlalamac	Estado de México	Flor de Mayo
E5	Cucuecuautila (El Pueblito)	Estado de México	Revuelto
E6	Atlatlahuacan	Morelos	Colado
E7	Atlatlahuacan	Morelos	Vaquita
E8	Nepantla	Estado de México	Amarillo
E9	Nepantla	Estado de México	Amarillo
E10	Nepantla	Estado de México	Vaquita
E11	Tepetlixpa	Estado de México	Amarillo Bola
E12	Totolapa	Morelos	Apetito
E13	Totolapa	Morelos	Cacahuate
E14	San José Tlacotitlan	Estado de México	Amarillo
E15	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
E17	San AndresTlalamac	Estado de México	Garrapato

E18	San AndresTlalamac	Estado de México	Vaquita
E19	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Amarillo
E20	San AndresTlalamac	Estado de México	Flor de Mayo
E21	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Color de Rosita
E22	San AndresTlalamac	Estado de México	Rojo
E23	Cuijingo	Estado de México	Coconita
E24	Nepantla	Estado de México	Flor de Mayo
E25	San AndresTlalamac	Estado de México	Vaquita
E26	San AndresTlalamac	Estado de México	Torito
E27	San AndresTlalamac	Estado de México	Garrapato o Morito
E28	San AndresTlalamac	Estado de México	Colorado
E29	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo
E30	Nepantla	Estado de México	Palacio
E31	Nepantla	Estado de México	Vaca
E32	San José Tlacotitlan	Estado de México	Negro Bola
E33	San José Tlacotitlan	Estado de México	Media oreja
E34	Atlautla	Estado de México	Amarillo
E35	Nepantla	Estado de México	Palacio
E36	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo
E37	San AndresTlalamac	Estado de México	Apetito
E38	San Lorenzo Tlaltecoyac	Estado de México	Negro Bola
E39	Juchitepec	Estado de México	Color de Rosa
E40	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Senete o Cabeza de Ahuate
E41	Tepetlixpa	Estado de México	Rojo
E42	Tepetlixpa	Estado de México	Vaquita
E43	San Mateo Tecalco	Estado de México	Frijol Negro
E44	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Mezcla Palacio – Amarillo
E45	Cuecucuatitla (El Pueblito)	Estado de México	Alubia o Novia
E46	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo Ovalado
E47	San AndresTlalamac	Estado de México	Amarillo Boludo
O9	Chamizal	Oaxaca	Negro Ejotero
O28	Barrio San SebastianTlaxiaco	Oaxaca	Frijol Colorado
O29	Santa Lucrecia	Oaxaca	Frijol Tempranero
O33	Santa Catarina Ticua	Oaxaca	Revuelto
O35	Primavera Santiago Yosondua	Oaxaca	Revuelto
O36	San Martin Huamelulpan	Oaxaca	Tempranero Blanco
O38	Totonando	Oaxaca	Tempranero
O39	San Pedro Molinos	Oaxaca	Frijol de Ejote
O40	Santa MariaTataltepec	Oaxaca	Frijol Blandito Rojo y Negro
O42	Santa MariaTataltepec	Oaxaca	Negro o Frijol Grueso
O43	Santa Catarina Tayata	Oaxaca	Frijol Colorado
O45	Haquiniyiqui	Oaxaca	Negro Ayocote
O46	Haquiniyiqui	Oaxaca	Cuarenteño
O49	Primavera Santiago Yosondua	Oaxaca	Ejote Suave
O51	San Isidro	Oaxaca	Amarillo
G87	Almolonga	Guerrero	Frijol Rojo

G94	Chilacachapa	Guerrero	Pintito de Vara
G96	Zoquiapan	Guerrero	Frijol negro de Vara
G97	Zoquiapan	Guerrero	Negro de Vara o Milpa
G99	Santa Ana	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G103	El Refugio	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G118	Las Trancas	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G120	Las Trancas	Guerrero	Rojo de Cascara Dura
G129	Zompepelco	Guerrero	Frijol Rojo de Vara
G137	El Nuevo Paraíso	Guerrero	Frijol Blanco Enredador
T1	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
T2	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Vaquita
T3	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Moradito o Morita
T4	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Mantequilla
T5	Vicente Guerrero	Tlaxcala	Pinto

Determinación de proteína total

Se utilizó el método de Microkjeldahl. Primero se pesaron 0.3 g y se colocaron en tubos de vidrio; para la digestión se añadió 0.5 g de mezcla catalizadora (96 g de Na₂SO₄, 3.5 g de CuSO₄ y 0.5 g de Se) y 3 mL de H₂SO₄ concentrado. Se colocó en el digestor a 300 °C durante 120 minutos dentro de la campana de extracción (marca LABCONCO), hasta que la solución tomó un color verde pálido. Al enfriarse se solidificó la solución resultante y fue disuelta con mínima cantidad de agua y el contenido se transfirió al microdestilador (marca LABCONCO). En el extremo del condensador se colocó un matraz erlenmeyer de 50 mL con 6 mL de ácido bórico al 4%, siempre con el condensador sumergido en la solución. Se adicionaron 10 mL de NaOH al 40% para destilar, hasta obtener 20 mL del destilado. La titulación se realizó con HCl al 0.1010 N y se registró la cantidad de mL gastada. El factor de ajuste para nitrógeno fue de 0.014 meq x 100. La cantidad total de nitrógeno total se estimó con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{mL}_{\text{muestra}}) * (\text{N}) * (\text{m}_{\text{eq}} * 100)}{\text{m}}$$

$$\% \text{ Proteína cruda} = \% \text{ Nitrógeno} * 6.25 \text{ (factor)}$$

Determinación de lectinas

La detección de lectinas se llevó a cabo por microdilución seriada. Primero se determinó la cantidad mínima de faseolotoxina (Sigma-Aldrich L-8754) que produce prueba positiva de aglutinación, definiéndose como 1 unidad hemaglutinante (UHG) equivalente a 1 mg de lectina. Para el extracto, se pesó 0.1 g de muestra y se diluyeron en 10 mL de solución salina al 1%, con agitación mecánica durante 2 h a 300 rpm a temperatura ambiente. Después, el extracto se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min; el sobrenadante se filtró y se llevó al volumen inicial (10 mL). Para la extracción de sangre se utilizaron hámster machos, obteniéndola a través de seno orbital. La sangre se lavó tres veces con solución salina al 0.9%. La relación sangre:solución salina fue de 1:13, se centrifugó a 1500 rpm durante 10 min, después del último lavado el paquete de eritrocitos se midió y se diluyó a 4%, agregando 24 mL de solución salina 0.9% por 1 mL de glóbulos rojos compactados. Para la sensibilización de los glóbulos rojos, a cada 10 mL de suspensión de glóbulos rojos al 4%, se agregó 1 mL de solución de proteasa al 0.2% y se colocó por 1 h a $36^{\circ}\text{C} \pm 0.5$. Posteriormente, se centrifugó para eliminar la enzima sobrenadante y se realizaron tres lavados con solución salina 0.9%. Finalmente, se resuspendió el paquete de glóbulos rojos al 3%, por cada mililitro de paquete de eritrocitos se adicionó 32 mL de solución salina al 0.9%.

Para el ajuste de la suspensión de glóbulos rojos, se tomó 0.1 mL y se agregó 4.9 mL de solución al 0.9%. Entonces, se midió la absorbancia en el espectrofotómetro a 620 nm. La lectura debe ser de 26 ± 2.5 (24 a 29) de transmitancia. La microtitulación se realizó en placas tipo “V” del *microtiter*, donde en cada pozo se colocó 100 μL de solución salina al 0.9%. Después se llenó el microtitulador con 50 μL del extracto problema; posteriormente, se introduce a agitación en el primer pozo de la hilera girando y se pasó al siguiente pozo y así sucesivamente hasta

completar una hilera. Lo anterior también se realizó para la faseolotoxina y se deja una hilera que corresponde a las pruebas negativas de hemaglutinina. Por último, con un pipetero de gota se colocó en cada pozo 50 μL de la suspensión de glóbulos rojos y se giró la placa en forma circular, y se colocó en la incubadora a $36.5\text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5$ durante 1 h. Finalmente la placa se colocó sobre el dispositivo de lectura para registrar la máxima dilución que presente prueba positiva de aglutinación. Se realizaron las diluciones necesarias para que el extracto produzca un título dentro de los primeros 10 pozos de una hilera. Para los cálculos se determina el límite de detección del método usando como referencia la faseolotoxina:

$$E = M \times D$$

E = Cantidad de lectina para el primer pozo de la hilera respectiva (expresada en μg)

M = Concentración de lectina en la solución diluida (expresada en $\mu\text{g}/\mu\text{L}$)

D = Cantidad de muestra tomada por el microtitulador (μL)

$$L = 2 \left(\frac{E}{3^t} \right)$$

L = Límite de detección, que corresponde a la cantidad mínima de lectina que produce prueba positiva de aglutinación (expresada en μg).

t = Título para la PHT

Para el extracto de la muestra, se consideraron las diluciones correspondientes para cada muestra:

$$e = m \times D$$

e = cantidad equivalente de muestra en el primer pozo (mg)

m = concentración equivalente de muestra en el extracto ($\text{mg}/\mu\text{L}$)

D = cantidad de extracto tomado por el microdilutor (μL).

$$MA = 2 \left(\frac{e}{3^t} \right)$$

MA = Cantidad mínima de muestra que produce aglutinación (expresada en mg)

t = Título (valor que indica la máxima dilución del extracto que produce prueba positiva de aglutinación con los eritrocitos del ensayo).

Finalmente la concentración equivalente de lectina que tienen las muestras problemas se estimó mediante la siguiente equivalencia: 1 unidad de hemaglutinación (UHG) = 1 mg de faseolotoxina. Bajo las condiciones establecidas, se puede expresar los resultados en UHG/g de muestra.

$$LE = \frac{L}{MA}$$

LE = Cantidad de lectina de referencia expresada en $\mu\text{g}/\text{mg}$ de muestra que también equivale a 1 mg de lectina /g de muestra.

L = Límite de detección (μg)

Determinación de ácido fítico

Para este caso se empleó una columna de intercambio iónico. La determinación espectrofotométrica se basó en la medida de la disminución de la absorbancia del complejo FeCl_3 -ácido sulfosalicílico (reactivo de Wade) debido al enlace del Fe (III) con el ácido fítico (Sotelo, 2002). Para la extracción se pesó 1 g de muestra, se agregaron 20 mL de HCl a 0.65 N. El pH debió estar entre 0 y 1, se sometió a agitación vigorosa durante 2 h a temperatura ambiente. El extracto se centrifugó a 17,300 g a temperatura ambiente. Se colectó el sobrenadante, y se tomó una alícuota que se diluyó con agua desionizada. El pH se ajustó a 6.0 con NaOH 1.0 N, y se tomó 10 mL de la alícuota diluida que se transfirió a la columna de resina

de 8 mm x 65 mm (AG1-X8, 200-400 mesh, 0.5 g, Bio Rad No. 140-1451). El lavado de la columna se hizo con 15 mL de NaCl a 0.1 N. El fitato se eluyó con 15 mL de NaCl a 0.7 N y se recolectó el extracto purificado. Se tomaron 3 mL de agua desionizada, 3 mL de los estándares (soluciones de fitato de sodio conteniendo de 5 a 50 µg/mL) o los extractos purificados a través de la columna a los que previamente se les ajustó el pH a 3, y se les adicionó 1 mL del reactivo de Wade (0.03% de FeCl₃.6H₂O + 0.3% ácido sulfosalicílico). Se agitó y se leyó a una absorbancia de 500 nm. Para las columnas de intercambio iónico, se pesaron 0.5 g de resina y se hidrató con 0.6 mL de agua desionizada. Se utilizaron como columnas jeringas de 3 mL, a las que se les introdujo en el fondo fibra de vidrio y se colocaron sobre un soporte, y posteriormente se agregó a la columna la resina hidratada. Una vez que la resina quedó bien empacada se adicionaron 15 mL de NaCl a 0.7 N, se lavó con 30 mL de agua desionizada cuidando de dejar líquido para que no se seque la resina y quede lista para usarse. Para el cálculo se obtuvo la absorbancia corregida:

$$\text{Absorbancia}_{\text{corregida}} = \text{Absorbancia}_{\text{blanco}} - \text{Absorbancia}_{\text{experimental}}$$

$$\text{Absorbancia}_{\text{corregida}} = \text{pendiente}(m) * \text{concentracion}_{\mu\text{g}/\text{mL}} + \text{ordenada al origen (b)}$$

$$\%_{\text{AF}} = \text{concentracion}_{\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}}} * \frac{15}{10} * \frac{1}{10^6} * \frac{25}{1 \text{ ó } 5} * \frac{20}{\text{Peso}_{\text{muestra}}(\text{g})} * 100$$

Determinación de taninos

El método se basó en la reducción del ión férrico debido a los polifenoles, con la posterior formación de un complejo colorido en condiciones alcalinas, cuantificado espectrofotométricamente a una longitud de onda de 525 nm. Primero se pesaron de 0.5 a 1 g de muestra y se adicionó 18 mL de dimetilformamida (DMF) al 75%, se agitó por 1 h a 500 rpm. Se centrifugó por 10 minutos a 3000 rpm y se aforó a 25 mL con DMF. Se colocó en un tubo 1 mL de muestra, se le agregó 5 mL de agua destilada más 1 mL de citrato férrico amoniacal y

finalmente 1 mL de amoniaco. Para el blanco solo se agregó 1 mL de amoniaco y el resto fue agua destilada. Posteriormente, se introdujeron los tubos en baño maría a temperatura controlada de 30 °C durante 10 min. Finalmente, se realizó la lectura espectrofotométrica a 525 nm. Se realizó una curva patrón en base a la solución de ácido tánico (2mg/mL), la escala de la curva correspondió al contenido de 0 a 560 µg/mL y siguió el mismo procedimiento para las muestras. El cálculo se hizo por interpolación, primero el valor de absorbancia de cada muestra en la curva patrón y posteriormente se trabajó con las siguientes fórmulas:

$$\frac{\mu\text{g ácido tánico}}{\text{mL}} * 25 \text{ mL} = \mu\text{g ácido tánico}$$

$$\frac{\mu\text{g ácido tánico}}{\text{g muestra}} * 100 = \frac{\mu\text{g ácido tánico}}{100 \text{ g muestra}}$$

$$\frac{\mu\text{g ácido tánico}}{100\text{g muestra}} * \frac{1 \text{ mg}}{1000\mu\text{g}} * \frac{1 \text{ g}}{1000\text{mg}} = \frac{\text{g}}{100\text{g muestra}} = \% \text{ ácido tánico}$$

Análisis estadístico

Con las lecturas de las muestras de las cuatro variables estudiadas, se realizaron análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con el objetivo de probar las diferencias entre poblaciones y orígenes de la población, y se complementó con una comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($p < 0.05$). También se aplicó un análisis de componentes principales (CP) a la composición química y datos morfológicos previamente obtenidos, con base en la matriz de correlaciones de los promedios estandarizados, y se complementó con un análisis de conglomerados por el método jerárquico de ligamiento promedio. Todos los análisis estadísticos se realizaron en los programas SAS e Infostat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza por poblaciones individuales presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.01$) en todas las variables estudiadas, excepto en ácido fítico (Cuadro 2). En el presente estudio el contenido de proteína total en frijol vario de 16.97 a 25.28%, con un promedio general de 21.31%, y se encuentra en el intervalo de valores reportador por Paredes *et al.* (2006), de 14 a 33%. El menor valor correspondió a la población E18 de San Andrés Tlalamac, México, y el mayor a la población O40 de Santa María Tataltepec, Oax. La variación en proteína es atribuida a factores genéticos propios del genotipo que es producto de la domesticación, a factores asociados al manejo del cultivo y variación ecogeográficas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características fitoquímicas de 75 poblaciones nativas de frijol.

Colecta	Proteína (g/ 100 g)	Lectinas (UHG/ g)	Ácido fítico (g/ 100 g)	Taninos (g/ 100 g)
<i>Originarias del estado de México (E)</i>				
E1	20.18 v [†]	4.82 f	1.20 b	0.645 d
E2	21.26 n	3.36 f	1.61 b	0.654 c
E3	19.38 c	6.77 f	1.56 b	0.670 b
E5	20.84 p	17.65 f	1.52 b	0.476 c
E6	23.09 c	66.70 c	1.41 b	0.536 t
E7	19.28 d	51.88 d	1.42 b	0.506 y
E8	20.37 u	4.00 f	1.33 b	0.593 k
E9	21.06 n	19.82 f	1.41 b	0.606 h
E10	18.26 h	54.81 c	1.36 b	0.513 w
E11	23.86 a	57.68 c	1.77 b	0.583 m
E12	19.95 y	110.73 b	1.38 b	0.639 d
E13	18.51 g	107.45 b	1.55 b	0.571 n
E14	22.91 d	17.60 f	1.26 b	0.563 p
E15	22.74 d	6.75 f	1.26 b	0.619 g
E17	21.71 d	2.60 f	1.30 b	0.493 z
E18	16.97 j	34.97 f	1.33 b	0.522 v
E19	22.03 h	6.75 f	1.48 b	0.608 g
E20	20.59 r	13.86 f	1.23 b	0.669 b
E21	23.83 a	65.98 c	1.75 b	0.536 s

E22	22.12 h	19.78 f	1.34 b	0.612 g
E23	24.54 a	9.44 f	1.21 b	0.569 o
E24	23.33 b	18.32 f	1.17 b	0.641 d
E25	19.53 b	7.39 f	1.93 a	0.536 d
E26	21.12 n	34.97 f	1.00 b	0.402 j
E27	21.30 m	4.12 m	1.61 b	0.505 y
E28	20.06 w	53.87 d	1.15 b	0.604 i
E29	24.19 a	6.20 f	1.74 b	0.652 c
E30	21.41 k	18.05 f	1.41 b	0.587 l
E31	20.39 t	57.64 c	1.45 b	0.550 q
E32	19.67 a	10.98 f	1.65 b	0.523 v
E33	18.73 f ^r	10.11 f	1.11 b	0.605 h
E34	23.17 c	7.15 f	1.29 b	0.596 j
E35	22.41 f	120.54 b	1.29 b	0.666 b
E36	21.47 j	27.87 f	1.78 b	0.628 f
E37	21.34 l	48.82 d	1.85 b	0.645 d
E38	20.39 t	17.43 f	1.37 b	0.482 b
E39	22.25 g	52.19 d	1.12 b	0.433 h
E40	20.01 w	5.75 f	1.13 b	0.443 f
E41	20.99 n	32.64 f	1.65 b	0.696 b
E42	17.75 i	104.92 b	1.27 b	0.435 g
E43	19.93 z	30.00 f	1.27 b	0.567 o
E44	21.14 n	22.26 f	1.66 b	0.554 q
E45	21.85 i	4.98 f	1.46 b	0.366 k
E46	20.41 t	11.62 f	1.46 b	0.583 m
E47	20.72 q	16.42 f	1.34 b	0.585 l
<i>Originarias de Oaxaca (O)</i>				
O9	22.37 f	22.46 f	1.42 b	0.580 n
O28	20.97 n	193.23 a	1.24 b	0.632 e
O29	22.27 g	12.96 f	1.33 b	0.588 l
O33	21.91 h	5.80 f	1.67 b	0.549 q
O35	23.96 a	66.37 c	1.51 b	0.537 s
O36	17.71 i	12.08 f	1.64 b	0.419 i
O38	21.53 j	47.99 d	1.69 b	0.410 j
O39	20.10 w	198.92 a	1.64 b	0.489 a
O40	25.28 a	6.78 f	1.89 b	0.628 f
O42	21.78 i	22.28 f	1.14 b	0.610 g
O43	21.58 j	67.30 c	1.08 b	0.527 u
O45	22.88 d	66.70 c	1.31 b	0.555 q
O46	18.96 e	19.55 f	0.84 b	0.421 i
O49	24.79 a	54.84 c	1.24 b	0.407 j
O51	19.72 a	28.25 f	1.52 b	0.646 d
<i>Originarias de Guerrero (G)</i>				
G87	22.91 d	47.64 d	1.28 b	0.511 w
G94	20.47 s	88.41 c	1.49 b	0.418 i
G96	22.74 d	44.42 d	1.90 b	0.508 x

G97	21.58 j	13.89 f	1.49 b	0.546 r
G99	25.25 a	86.53 c	1.35 b	0.754 a
G103	23.24 a	10.83 f	1.66 b	0.708 a
G118	22.81 d	7.26 f	1.53 b	0.591 l
G120	21.78 i	9.76 f	1.44 b	0.698 b
G129	20.05 x	171.30 a	1.72 b	0.677 b
G137	20.90 o	67.64 c	1.53 b	0.681 b
<i>Originarias de Tlaxcala (T)</i>				
T1	21.34 m	18.60 f	1.32 b	0.583 m
T2	21.70 i	166.42 a	1.73 b	0.463 d
T3	21.10 n	13.25 f	1.49 b	0.471 e
T4	19.26 d	17.95 f	1.29 b	0.565 o
T5	20.57 r	34.76 f	1.51 b	0.433 h
Intervalo	16.97 - 25.28	2.60 – 198.92	0.84 - 1.93	0.366 - 0.754
Promedio	21.31	40.42	1.44	0.561
CV	8.26	110.32	15.63	15.25
DMS	1.48	66.45	0.590	0.047

†Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

En el caso de lectinas, se presentó un coeficiente de variación muy alto, como consecuencia de la amplia variación en los estimadores poblacionales, los valores oscilaron de 2.6 a 198.9%, el menor valor corresponde a la población E17 y el mayor a O3. Respecto al ácido fítico (AF), el contenido varió de 0.84 a 1.93%, O46 presentó el menor valor y E25 el mayor (Cuadro 2), y se encuentra dentro de los rangos reportados, 0.6 a 2.7% (Paredes *et al.*, 2006). Martínez (2002) reportó que el contenido de AF en cereales es amplio: en arroz entero de 0.86 a 0.99%, en trigo valores mayores a 1.13%, en maíz de 0.77 a 0.99%, en sorgo de 0.82 a 0.96%, en cebada es de 0.99% y en avena de 0.77%. En haba los niveles de AF oscilan entre 0.71 y 1.15%, en chícharo entre 0.75 y 0.94%, en frijol de vaca (*Vigna unguiculata*) 0.77%, en lentejas y garbanzos los niveles son de aproximadamente 0.7%. Todo esto indica que el contenido de ácido fítico evaluado en frijol fue mayor que lo reportado para cereales y algunas leguminosas.

En el caso de taninos, el contenido osciló de 0.366 a 0.764%, el menor valor correspondió a la población E45 y el mayor a G99. En diferentes reportes se determinaron valores de 0.8% de

taninos en *Vigna sinensis*, de 0.3% a 0.077% en *Vigna unguiculata*, 0.27% en *Cajanus cajan* y 0.26% en *Psophocarpus tetragonolobus*. Los resultados de este estudio muestran una gran variabilidad poblacional de taninos en los genotipos de frijol evaluados, los que se encuentran principalmente en la testa y se ha señalado que actúan como agentes útiles para prevenir cáncer y arteriosclerosis.

En los análisis de varianzas por entidad federativa de origen de las poblaciones, se detectaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre estados, en contenido de lectinas, taninos y proteína total en semilla, pero no significativas para ácido fítico. El contenido de proteína en las poblaciones osciló de 0.53 a 0.61% y las originaria de Tlaxcala presentaron el valor más bajo, alrededor de 0.5%. Las poblaciones de Guerrero presentaron los valores más altos en todos los caracteres evaluados, el grupo de Oaxaca presentó valores intermedios, y el grupo del estado de México presentó un menor contenido de lectinas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Composición del grano de frijol común de cuatro estados de la república mexicana.

Origen	Lectinas	Ácido fítico	Taninos	Proteína
Estado de México	32.93 b [†]	1.418 a	0.566 a	21.04 a
Oaxaca	44.73 a	1.410 a	0.530 b	21.79 a
Guerrero	56.52 a	1.539 a	0.609 a	22.21 a
Tlaxcala	51.74 a	1.468 a	0.503 b	20.79 b
Media	40.42	1.44	0.561	21.31
Coefficiente de variación (%)	110.3	15.6	15.2	8.3
DMS	21.21	1.15	0.066	1.40

[†]Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

El análisis conjunto de caracteres de fitoquímicos y morfológicos de semilla por componentes principales, mostró que los cuatro primeros componentes explicaron 77.1% de la variación total. El primer componente estuvo determinado por características de dimensión de semilla, y en los

otros componentes se incluyeron características químicas. Los dos primeros componentes explicaron 56.56% de la variación; en el primer componente las características de mayor contribución fueron longitud, ancho y grosor de semilla, peso y volumen de 100 semillas, y el componente dos estuvo determinado por el contenido de proteína, ácido fítico, taninos, peso específico y longitud y grosor de semilla (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de cuatro componentes principales (CP) del análisis descriptivo de 75 poblaciones de frijol, con base en variables morfológicas y parámetros fitoquímicos.

Característica evaluadas	CP1	CP2	CP3	CP4
Longitud de semilla	0.395	-0.261	0.137	-0.049
Ancho de semilla	0.475	-0.006	-0.060	0.041
Grosor de semilla	0.324	0.204	-0.388	0.046
Peso de 100 semillas	0.485	0.004	0.010	0.083
Volumen de 100 semillas	0.482	0.050	-0.026	0.034
Peso específico	0.054	-0.467	0.275	0.467
Lectinas	-0.196	0.050	-0.305	0.571
Ácido fítico	0.022	0.491	-0.248	0.452
Taninos	0.041	0.332	0.729	0.364
Proteína	0.031	0.558	0.250	-0.319
Valor propio	41.09	1.546	1.061	0.9952
Variación explicada (%)	41.09	15.46	10.61	9.95
Variación acumulada (%)	41.09	56.5	67.1	77.1

En la representación espacial de dos primeros componentes principales (Figura 1), las poblaciones de mayor tamaño de semilla, provenientes del estado de México, proyectadas sobre el eje del componente principal uno, se concentraron en los cuadrantes I y IV. En contraste, las de tamaño pequeño, originarias de Guerrero y Oaxaca, se concentraron en los cuadrantes II y III; las poblaciones de Tlaxcala de tamaño intermedio se ubicaron en torno al centro de los ejes. En el componente dos, las poblaciones distribuidas en la parte superior de la figura, proyectadas sobre este eje, además de tamaño intermedio de semilla, están asociadas a una mayor concentración de taninos, proteína y ácido fítico (p. ej. O40, G103, G99, E11, E29, etc.). En

sentido opuesto, algunas poblaciones con bajos contenidos de proteínas, taninos y ácido fítico fueron del estado de México (E18, E40 y E42).

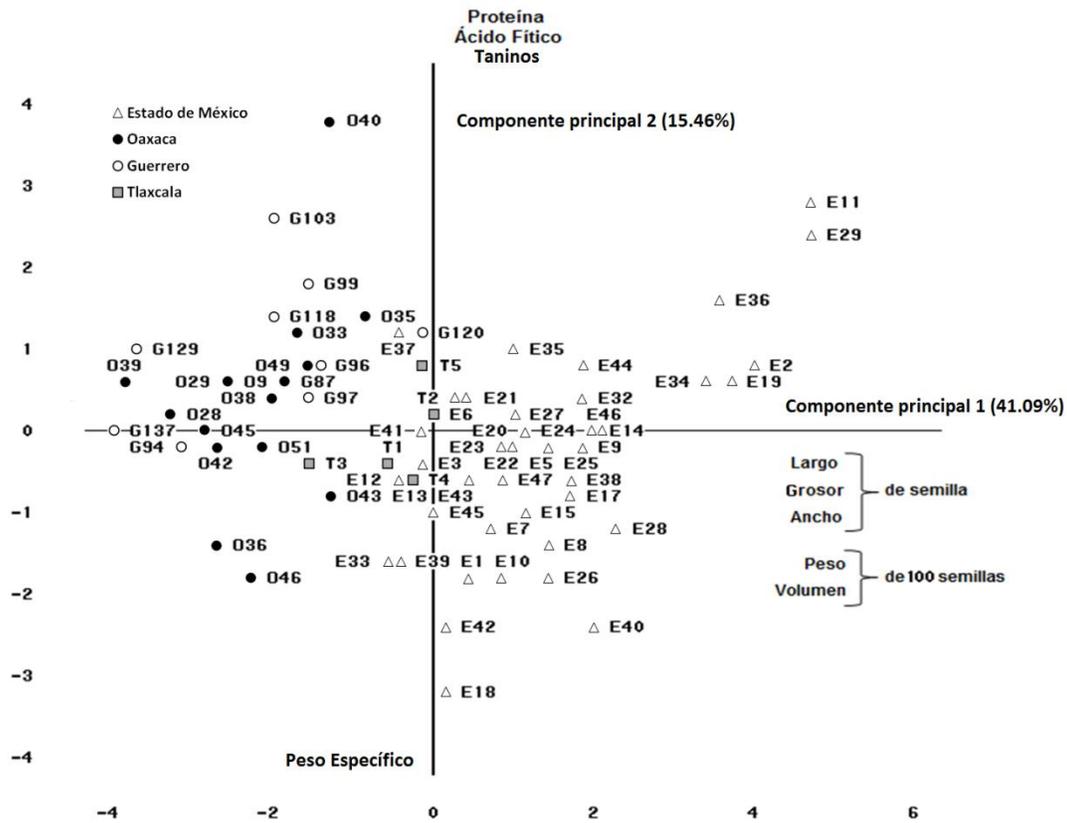


Figura 1. Dispersión de 75 poblaciones de frijol de crecimiento indeterminado, con base en dos primeros componentes principales, con base en características morfológicas y químicas de grano. E = Edo. México, T = Tlaxcala, G = Guerrero, O = Oaxaca.

El análisis de conglomerados a una distancia euclidiana de 11.6 se determinaron cinco grupos fenotípicos poblacionales (Figura 2). El grupo I, integró a poblaciones de Oaxaca (O28 y O39) que se diferenciaron por su alto contenido de lectinas. El grupo II se conformó por poblaciones de Oaxaca y tres de Guerrero (G87, G97 y G118), las que se caracterizaron por altos contenidos de proteínas, taninos, lectinas y ácido fítico. En el grupo III se incluyeron poblaciones de los estados de Oaxaca, Tlaxcala y Guerrero. El grupo IV fue integrado por seis poblaciones del estado de México que se caracterizaron por su alto contenido protéico y ácido fítico, así como mayores dimensiones de semilla. Finalmente, el grupo V aglomeró a poblaciones del estado de

México y tres de Tlaxcala (T1, T4 y T5), con menores dimensiones de grano y que se ubicaron en la región central de los agrupamientos. En estos agrupamientos se observó nuevamente la importancia de las características morfológicas de las semillas.

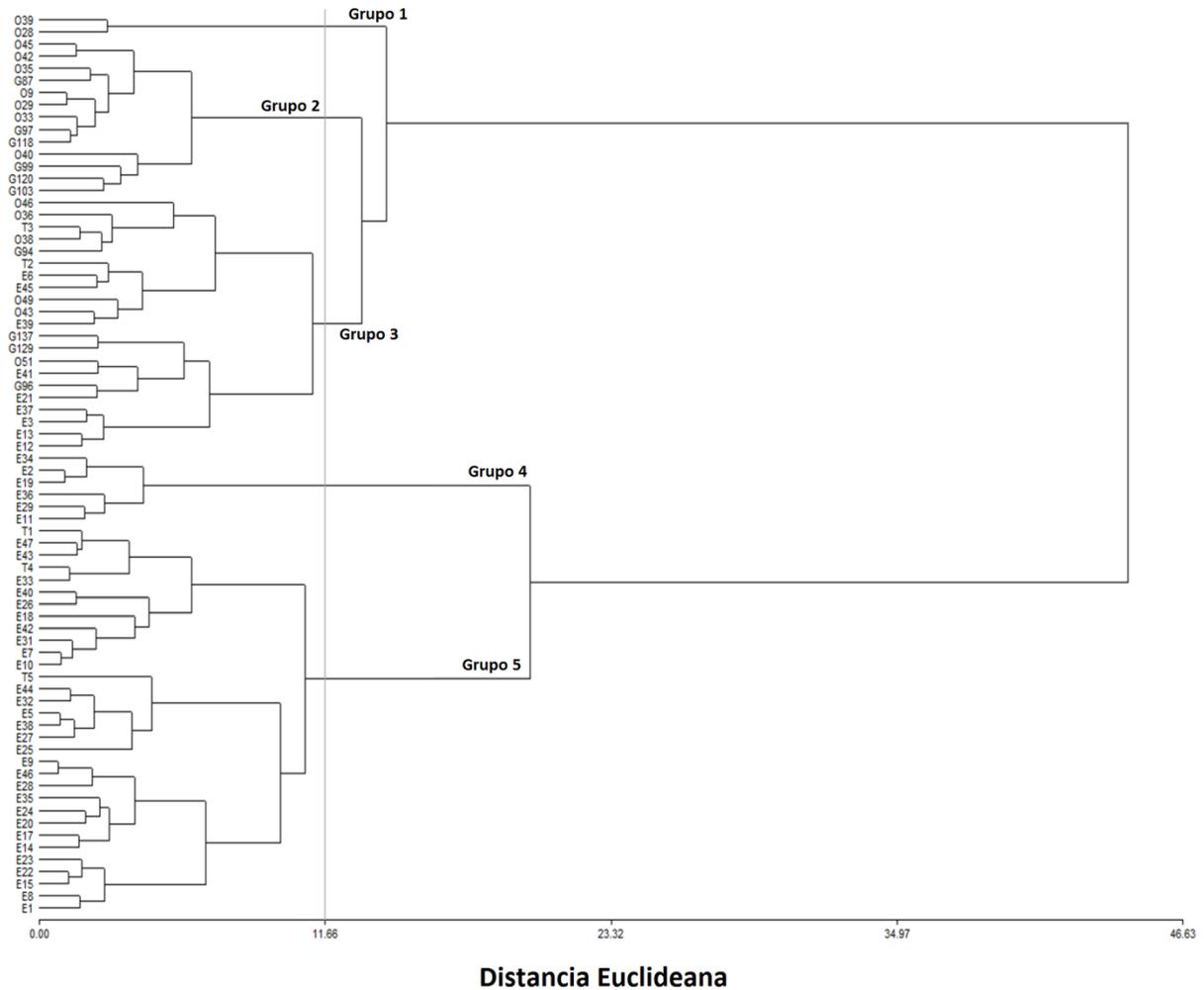


Figura 2. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 75 poblaciones nativas, con base en características morfológicas de la semilla y parámetro fitoquímicos. E = Edo. México, T = Tlaxcala, G = Guerrero, O = Oaxaca.

CONCLUSIONES

Las estimaciones fitoquímicas de composición de semilla en poblaciones nativas de frijol mostraron amplia variabilidad y diferencias significativas entre poblaciones y por origen geográfico, en lectinas, ácido fítico, taninos y proteína; la excepción el ácido fítico para la comparación del origen. Las poblaciones de Guerrero presentaron mayores contenidos en todos los compuestos evaluados. Específicamente, las poblaciones del estado de México presentaron el menor contenido de lectinas, las de Tlaxcala presentaron menor contenido de proteína y las de Oaxaca intermedio en todos los parámetros. En el análisis de componentes principales y de conglomerados, se corroboran los patrones observados en el análisis de varianza. Se determinaron cinco grupos fenotípicos: uno fue integrado por dos poblaciones de Oaxaca, dos grupos por poblaciones de Guerrero y Oaxaca y dos grupos del estado de México, con base en caracteres morfológicos de semilla y estimadores fitoquímicos de composición del grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Bernal L, P Coella, J Acosta, E Martínez B (2007)** Efecto de la deficiencia de fósforo en el metabolismo de carbono de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia* 41: 417-423.
- Graham R, D Senadhira, S Beebe, C Iglesias, I Monasterio (1999)** Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. *Field Crops Research* 60:57-80.
- González A M, M Fuente, A M De Ron, M Santalla (2010)** Protein markers and seed size variation in common bean segregating populations. *Molecular Breeding* 25:723-740.
- Jaffé G, Brucher O (2008)** Toxicidad y especificidad de diferentes fitohemaglutininas de frijoles. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 33: 851-853.

Jansman A J M, G D Hill, J Huisman, A F B van der Poel (1998) Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds and rapeseed. EAAP Publication Wageningen Pers No. 93. pp:219-232, 429-432.

Kaur S, N Singh, N Singh S, J Chand R (2009) Diversity in properties of seed and flour of kidney bean germplasm. Food Chemistry 117:282-289.

Martínez D B, M V Ibañez, F R León (2002) Ácido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 52:219-31.

Montoya C A, J P Lalles, S Beebe, P Leterme (2010) Phaseolin diversity as a possible strategy to improve the nutritional value of common beans (*Phaseolus vulgaris*). Food Research International 43:443-449.

Muzquiz M, C Burbano, C Ayet, M M Pedrosa, C Cuadrado (1999) The investigation of antinutritional factors in *Phaseolus vulgaris*. Environmental and varietal differences. Biotechnology Agronomy Society and Environment 3:210-216.

Paredes L O, F G Lara, L A Bello (2006) Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica México. D.F. pp: 81-88.

Parr J B (2000) Phenols in the plant and in man: The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. Journal of the Science of Food and Agriculture 80:985-1012.

Pinheiro C, J P Baeta, A M Pereira, H Doomingues, P R Candido (2010) Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris L.* germplasm. Journal of Food Composition and Analysis 23:319-325.

Rickard S E, L U Thompson (1997) Interactions and biological effects of phytic acid: In: Antinutrients and Phytochemicals in Food. F Shahidi (ed). American Chemical Society. Toronto. pp:294-31.

Shaidi F (1997) Antinutrients and Phytochemicals in Food. American Chemical Society, Washington, D.C. pp: 31-43.

Sotelo A, J Mendoza, R M Argote (2002) Contenido de ácido fítico en algunos alimentos crudos y procesados. Validación de un método colorimétrico. Sociedad Química de México 46: 301-306.

Valle V P, B Lucas F (2000) Toxicología de alimentos. OPS/OMS México, D.F., I.S.B.N. 9-75-370004-4. 60 -80p

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN GENERAL

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) representa una tradición productiva y de consumo precolombina, a través de diversas funciones de carácter alimentario, cultural y socioeconómico, que le han permitido trascender hasta hoy (Pérez *et al.*, 1994). Su presencia a lo largo de la historia lo convierte, no sólo en un alimento tradicional, sino también en un elemento de identidad social y cultural. Es un cultivo estratégico importante porque representa una fuente de ingreso económico y garantía en seguridad alimentaria para los productores (Acosta *et al.*, 2002; Lépiz *et al.*, 2010)

En México, la producción de frijol se destina al consumo humano y es una fuente de proteína para amplios sectores de la población mexicana. Sin embargo, la cantidad y frecuencia de consumo tiende a decrecer con el cambio de hábitos alimenticios a pesar de poseer un alto valor nutricional y nutracéutico, ya que es de gran utilidad en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares y crónicas degenerativas que afectan a la población (Valle, 2000; Paredes *et al.*, 2006).

Variabilidad en semilla de poblaciones de frijol común

México como centro de origen del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cuenta con una amplia variación fenotípica, genética y composición bioquímica del grano (Castillo *et al.*, 2006; Vidal *et al.*, 2006). En este trabajo se documentó un patrón geográfico de variación específica en diversidad de colores, tamaños y formas de semilla, de acuerdo al origen ecogeográfico de las poblaciones evaluadas; el primero se conforma con las poblaciones nativas del estado de México y Tlaxcala, y el segundo por las provenientes de Guerrero y Oaxaca. En el análisis de componentes principales (CP), se identificaron las características de mayor importancia que

describieron los patrones indicados como longitud, ancho, grosor, peso y volumen de semillas. Además, la distribución espacial de las poblaciones en el plano formado por los dos primeros componentes principales, mostró diferentes patrones de variación entre y dentro entidades federativas de origen de las muestras, con base en morfología de semilla. Las poblaciones del estado de México presentaron mayor tamaño, peso y volumen de semilla. La mayor parte de poblaciones de Oaxaca fueron de grosor intermedio.

En el análisis de conglomerados se identificaron cuatro grupos: El grupo I estuvo integrado por dos subgrupos de poblaciones colectadas en el estado de México. En el grupo II también se agruparon poblaciones del estado de México pero dentro de este grupo se incluyeron a cuatro poblaciones de Tlaxcala, dos de Oaxaca y una de Guerrero. El grupo III estuvo integrado esencialmente por poblaciones con grano amarillo que fueron colectadas en el estado de México. Finalmente, el grupo IV aglomeró al mayor número de poblaciones de Oaxaca y Guerrero. Los resultados muestran que, los caracteres de semillas ayudaron a diferenciar las poblaciones por origen geográfico y se diferencian con gran precisión las poblaciones de Guerrero y Oaxaca.

Variación en composición fitoquímica

Con base en el análisis químico de muestras de grano, se detectó amplia variabilidad y diferencias significativas a nivel de poblaciones y por origen geográfico en todos los parámetros evaluados, excepto en ácido fítico (AF); todo esto destaca el gran potencial que tiene el frijol común en sus cualidades nutritivas y nutraceuticas. En el presente estudio, el contenido de proteína total en frijol varió de 16.97 a 25.28%, y esta variación es atribuida a factores genéticos propios del genotipo que es producto de la domesticación, a factores asociados al manejo del cultivo y variación ecogeográfica. En el caso de lectinas, se presentaron valores de 2.6 a 198.9%, respecto al ácido fítico, el contenido en las poblaciones varió de 0.84 a 1.93%. En el caso de

taninos, el contenido osciló de 0.366 a 0.764%. Los resultados del presente estudio indicaron amplia variabilidad poblacional en los genotipos de frijol evaluados. Así, con base en el análisis conjunto de caracteres fitoquímicos y morfológicos de semilla, en el análisis de componentes principales se determinó que, las divergencias entre poblaciones estuvieron determinados por características de dimensión de semilla, proteína, ácido fítico y taninos.

En el análisis de conglomerados se determinaron cinco grupos fenotípicos poblacionales. El grupo I, integró poblaciones de Oaxaca (O28 y O39) que se diferenciaron por su alto contenido de lectinas. El grupo II se conforma por poblaciones de Oaxaca y tres de Guerrero (G87, G97 y G118), las que se caracterizaron por altos contenidos de proteínas, taninos, lectinas y ácido fítico. En el grupo III se incluyeron poblaciones de los estados de Oaxaca, Tlaxcala y Guerrero. El grupo IV fue integrado por seis poblaciones del estado de México que se caracterizaron por su alto contenido proteico y ácido fítico, así como mayores dimensiones de semilla. Finalmente, el grupo V aglomeró a poblaciones del estado de México y tres de Tlaxcala (T1, T4 y T5), con menores dimensiones de grano y que se ubicaron en la región central de los agrupamientos.

Por lo tanto, la diversidad que se muestra en esta investigación, indica una amplia variación fenotípica en la región centro-sur de México, así mismo el valor agronómico y fitoquímico de las poblaciones evaluadas es alto y útil para incrementar la productividad regional y calidad del frijol a corto, mediano y largo plazo. Se confirma la hipótesis de amplia variabilidad de las poblaciones nativas de frijol, en caracteres de semilla y fitoquímicos. Estas aproximaciones al conocimiento de componentes nutricionales y antinutricionales, ayudan a establecer las estrategias más apropiadas para la conservación y aprovechamiento *in situ* del frijol común de crecimiento indeterminado. Es decir, se evaluó una pequeña muestra de la variabilidad genética de los acervos genéticos de frijol del centro y sureste de México, y plantea hipótesis de mayor

relevancia para abordarse con mayor profundidad. Por ejemplo, si en una colección de 75 poblaciones nativas se determinó esta gran variabilidad en características de semillas y compuestos fitoquímicos, la diversidad genética por estudiar, valorar y aprovechar es más alta que la evaluada y es suficiente para emprender un programa de mejoramiento genético y aprovechamiento directo de las poblaciones cultivadas en manos de los agricultores.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta G J A, S H Guzmán, G. Esquivel E, R Rosales S (2002) El mejoramiento del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en México: avances y perspectivas. *In:* 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, Coahuila. pp: 20-27.

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. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 29-2:111-119.

Lépiz I R, J J López A, J J Sánchez G, F Santacruz R, R Nuño R, E Rodríguez G (2010) Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:21-28.

Paredes L O, F G Lara, L A Bello (2006) Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica México. D.F. 59-88p.

Pérez M J, C R Ferrera, E R García (1994) Diversidad Genética y Patología del Frijol. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. pp:2-18.

Valle V P, B Lucas F (2000) Toxicología de alimentos. OPS/OMS México, D.F. pp:60-80.

Vidal B A, L C Lagunes E, E Valadez M, C F Ortiz G (2006) Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. Revista Fitotecnia Mexicana 29:273-281.