

## Caracterización de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental\*

### Characterization of the runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) of the Trans-Mexican Neovolcanic Belt and Sierra Madre Oriental

Ma. Luisa Patricia Vargas Vázquez<sup>1§</sup>, José Socorro Muruaga Martínez<sup>1</sup>, Netzahualcóyotl Mayek Pérez<sup>2</sup>, Alfredo Pérez Guerrero<sup>3</sup> y Susana E. Ramírez-Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5, Coatlinchán, Estado de México. C. P. 56250. México. Tel. 01 595 92 1 26 57. Ext. 176. (ymuruaga@hotmail.com; ramírea.susana@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional. Blvd. del maestro, esquina Elías Piña s/n, Col. Narciso Mendoza. Reynosa 88710 Tamaulipas, México. (nmayek@ipn.mx). <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados. (pg.alfred@gmail.com). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: patricia\_vargas\_mx@yahoo.com.

#### Resumen

El frijol ayocote es originario de las zonas templadas del territorio mexicano. Las provincias fisiográficas del territorio nacional, más representadas en la colección de variedades nativas de frijol ayocote del banco de germoplasma del INIFAP son el Eje Neovolcánico y La Sierra Madre Oriental. En el ciclo Primavera-Verano 2009 se cultivaron 231 variedades nativas de ayocote en el Campo Experimental Valle de México en Chapingo, Estado de México. Se sembraron dos surcos el 30 de abril de 2009 bajo temporal con siete matas dentro de cada surco de 4 m. Se registraron los días a inicio de floración y días a inicio de madurez. En octubre- noviembre se cosechó la semilla y se determinó en ocho repeticiones el peso de 100 semillas en gramos. Se corrió un análisis de componentes principales y otro de agrupamientos con el método "complete". Los tres primeros componentes explicaron 73% de la variabilidad contenida en las 231 variedades. El primero se relacionó con la altitud y temperaturas mínima y máxima media anual de los sitios de colecta, el segundo con los días a floración y a madurez de la planta, y el tercero con el peso de 100 semillas, días a floración, y precipitación de los sitios de colecta. El dendrograma asoció cuatro grandes grupos de acuerdo a su origen geográfico: el primero con accesiones de la subprovincia fisiográfica Chichonquiaco y los tres restantes

#### Abstract

The runner bean is native to the temperate regions of Mexico. The physiographic provinces of the country, most represented in the collection of native varieties of runner bean germplasm bank are Neovolcanic and the Sierra Madre Oriental. In the Spring-Summer 2009, cycle 231 native varieties were cultivated in the Experimental Field Valle de Mexico in Chapingo, State of Mexico. Two rows were planted on April 30, 2009 on time with seven plants in each row of 4 m. There were days to flowering and days to beginning of maturity. In October-November and harvested seed was determined in eight replicates of 100 seeds weight, in grams. We used a principal component analysis and a cluster with the method "complete". The first three components explained 73% of the variability contained in 231 varieties. The first one was related to the elevation and minimum and maximum average annual temperatures in the collection sites, the second to days to flowering and maturity of the plant, and the third with 100 seed weight, days to flowering, and precipitation of collection sites. The dendrogram associated four groups, according to their geographical origin: the first accessions of Chichonquiaco physiographic sub-province and the remaining three of the Neovolcanic sub-provinces Plains and Sierras de Querétaro and Hidalgo, Puebla Southern

\* Recibido: junio de 2013  
Aceptado: diciembre de 2013

de las subprovincias Eje Neovolcánico, Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, Sur de Puebla, y Neovolcánica Tarasca. Los ayocotes de la Sierra Madre Oriental, subprovincia Chiconquiaco, se diferenciaron de los del Eje Neovolcánico por su ciclo de cultivo más corto y semilla pequeña. Los ayocotes del Eje Neovolcánico tuvieron ciclos de cultivo más largos con semilla de mayor tamaño. A su vez, los ayocotes del Eje Neovolcánico fueron diferentes en su plasticidad fenológica: algunos al alargar su período vegetativo, acortaron el período reproductivo disminuyendo así el tamaño de su semilla. En cambio otros, a pesar de venir de lugares muy altos y muy fríos, mantuvieron su ciclo de cultivo largo y su tamaño de semilla posiblemente por la capacidad de su raíz de "rebrotar" después de las heladas.

**Palabras clave:** *Phaseolus* spp., bancos de germoplasma, biogeografía.

## Introducción

En México se requiere además de mantener los recursos naturales, utilizarlos en beneficio de la población. Este trabajo proporciona información de los sitios de origen y fenología de la planta del frijol ayocote. Para hacer útil a la humanidad la colección de 798 accesiones de ayocote resguardadas en el banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), antes es indispensable conocer la respuesta de la planta a las características físicas de los sitios donde se presume se domesticaron dichos ayocotes. La importancia del estudio de la distribución geográfica y sus características físicas y climáticas se debe a que presumiblemente son el principal mecanismo que originó la variabilidad genética de la especie, la cual no se ha estudiado a detalle en México.

En la actualidad, el territorio mexicano se ha dividido en 15 regiones o provincias fisiográficas que a su vez se dividen en 88 subprovincias. Las regiones o provincias son unidades morfológicas superficiales de características distintivas, de origen y morfología propios. Una región se considera provincia fisiográfica cuando tiene un origen geológico unitario sobre la mayor parte de su área, morfología propia y distintiva, y litología distintiva por subprovincia. Esta última resulta de la primera subdivisión de la provincia fisiográfica cuando las geoformas que la integran son las típicas de la provincia, pero su frecuencia, magnitud y variación morfológica son muy diferentes a las dadas en el

and Tarasca Neovolcánica. The runner beans of the Sierra Madre Oriental, Chiconquiaco subprovince, differed from those of Neovolcanic; its shorter growing cycle and small seed. The Neovolcanic runner beans of crop cycles were longer with larger seeds. In turn, the runner beans from the Neovolcanic region were different in their phenological plasticity: some of them when extending their growing season; they shortened the reproductive period, thus reducing the size of its seed. Instead, others, despite coming from very high and very cold places, maintained their long growing season and possibly seed size by the capacity of the root of "sprout" after frost.

**Key words:** *Phaseolus* spp., genebank, biogeography.

## Introduction

In Mexico, besides conserving the natural resources, we use them for the benefit of the population. This paper provides information on the source site and phenology of runner bean plants. In order to make the collection of 798 accessions of runner bean useful, we sheltered in the genebank of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) before it is necessary to know the response of the plant to the physical characteristics of the sites where presumably these runner beans were domesticated. The importance of the study of the geographical distribution and physical and climatic characteristics is that presumably, there are mechanisms created genetic variability of these species, which has not been studied in detail in Mexico so far.

Currently, the Mexican territory is divided into 15 regions or physiographic provinces, which in turn are divided into 88 sub-provinces. The regions or provinces are superficial morphological units distinctive characteristics, origin and morphology own. A region is considered physiographic province when it has a geological unit on most of its area, own distinctive morphology and distinctive lithology by Subprovince. The latter results from the first subdivision of physiographic province when the landforms that comprise it are typical of the province, but its frequency, magnitude and morphological variation are very different from those given in the rest of the province, or in the form predominant landform typical for the province, but associated with other different and which are distinctive for not appearing in the rest of the province.

resto de la provincia; o bien presenta en forma predominante la geoforma típica para la provincia, pero asociada con otras diferentes y que le son distintivas por no aparecer en el resto de la misma provincia.

El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) también conocido como patol, frijolon, pak y cimarrón se utiliza como alimento humano en estado inmaduro y seco. Es una especie adaptada a ambientes variados, muestra diversidad genética alta debido a su alto porcentaje de cruzamiento natural (14.7%) y por ello requiere un manejo agronómico diferente al del frijol común (Muruaga *et al.*, 1992) lo que dificulta la pureza de las variedades nativas. La especie representa una opción productiva en diferentes regiones de México. Las clases comerciales de grano que más predominan son las de grano grande y colores negros, morados y blancos, éstas son apreciadas y consumidas por comunidades campesinas ubicadas en zonas de cultivo marginadas en tierras altas y ocasionalmente se comercializan en mercados locales. Sin embargo, en algunas regiones de Europa (Holanda y Reino Unido) se llega a consumir más el frijol ayocote que el frijol común en forma de ejote, o mejor conocidas como judías verdes (Rodiño *et al.*, 2006), también se consume en el sur de Italia (Santalla *et al.*, 2004) y en las tierras de Castilla y León, España, donde se utiliza como semilla de color blanco con excelente calidad culinaria. Por ello es necesario contar con tecnología de producción que incluya el desarrollo de variedades mejoradas y su manejo agronómico para diferentes condiciones ambientales.

A pesar de que el frijol ayocote tolera bajas temperaturas, existen problemas que enfrentan los agricultores en cuanto a carencia de materiales resistentes a heladas y productividad adecuada; para revertir esto el INIFAP generó la primera variedad mejorada de frijol ayocote en México denominada Blanco Tlaxcala (Muruaga, 1996, Rosales *et al.*, 2004) la cual es una alternativa en tierras altas ya que también tolera la sequía, así como la incidencia de antracnosis y roya, enfermedades que atacan al frijol común.

En comparaciones del crecimiento de frijol ayocote *versus* tres variedades de frijol común: Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral (Zavala *et al.*, 2000) registró que Blanco Tlaxcala floreció de cuatro a doce días antes que el frijol común, y que además tuvo un ciclo de cultivo 36 días más largo (135 días) que el frijol común, menor tasa absoluta de crecimiento, índice de área foliar y duración de área foliar. Estudios agronómicos del cultivo de esta variedad mostraron que al probar densidades de población de 100 mil

The runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) also known as patol, frijolon, pak and cimarron are used as human food when unripe and dried. It is adapted to varied environments, showing high genetic diversity due to its high percentage of natural crossing (14.7%) and therefore requires a different agronomic management of common bean (Muruaga *et al.*, 1992) which makes the purity of native varieties. The species represents a productive option in different regions of Mexico. Commercial classes predominate grain more grain is large and black, purple and white; they are appreciated and consumed by rural communities located in marginal growing areas in the highlands and occasionally sold in local markets. However, in some regions of Europe (Netherlands and the UK) will get to consume more than the runner bean common bean as bean, or better known as green beans (Rodiño *et al.*, 2006), also consumed in Southern Italy (Santalla *et al.*, 2004) and in the lands of Castile and Leon, Spain, where it is used as a seed of white with good culinary quality. It is therefore necessary to have production technology including the development of improved varieties and agronomic management for different environmental conditions.

Although the runner bean tolerates low temperatures, there are problems faced by farmers in terms of lack of frost resistant materials and adequate productivity, reversing this INIFAP generated the first improved variety of runner bean in Mexico called Blanco Tlaxcala (Muruaga, 1996; Rosales *et al.*, 2004) which is an alternative upland and also tolerates drought and the incidence of anthracnose and rust diseases that attack the common bean.

In comparison, runner beans growth versus three common bean varieties: Pinto Villa, Bayomex and Bayo Mecentral (Zavala *et al.*, 2000) reported that Blanco Tlaxcala flourished from four to twelve days before the common bean, and also had one growing season 36 days longer (135 days) than the common bean, lower absolute growth rate, leaf area index and leaf area duration. Agronomic studies of growing this variety when testing showed that population densities 100 000-180 000 plants per hectare in areas of the Valley of Mexico, the optimum for seed was 100 thousand plants per hectare with a yield of 2.9 tons per hectare due to a large distribution of dry matter to the grain vegetative parts of the plant (Vargas and Irizar, 2001). This variety responds to the application of three biofertilisers: *Azospirillum brasilense* and *Rhizobium etli*, and the fungus *Glomus intraradices*. This indicated that in

a 180 mil plantas por hectárea en áreas del Valle de México, la óptima para obtener semillas fue de 100 mil plantas por hectárea con un rendimiento de 2.9 toneladas por hectárea debido a una mayor distribución de materia seca de las partes vegetativas hacia el grano de la planta (Vargas e Irizar, 2001). Ésta variedad Blanco Tlaxcala responde a la aplicación de tres biofertilizantes: las bacterias *Azospirillum brasilense* y *Rhizobium etli*, así como al hongo *Glomus intraradices*. Lo que indica que en zonas donde no se fertiliza con productos químicos, los biofertilizantes aumentan la masa aérea y el rendimiento del ayocote cuando se siembra como planta anual (Vargas e Irizar, 2008).

En cuanto a la colección de 798 accesiones del banco de germoplasma, estudios de la fenología de la planta de 149 accesiones del Carso Huasteco, en la Sierra Madre Oriental, y que forman parte de la colección de 798 accesiones del banco de germoplasma del INIFAP, mostraron que los ayocotes precoces a madurez (100 a 110 días) fueron desarrollados por selección empírica en sitios con menor temperatura mínima media anual (-2 a 0 °C) y los tardíos (110-120 días) en sitios con mayor temperatura mínima media anual (2 a 5 °C) (Vargas *et al.*, 2011). Resultados similares separaron 42 ayocotes de Puebla, Morelos y Estado de México en precoces y tardíos. Los precoces con 36-77 días a floración, semillas pequeñas y tipo III de hábito de crecimiento, y los tardíos con 78-102 días a floración, semillas grandes y tipo IV de hábito de crecimiento (Castillo *et al.*, 2006).

Otro factor que interviene en el crecimiento del frijol ayocote es la fecha de siembra, si ésta es temprana, a principios de mayo, se obtendrá mayor rendimiento y mejor calidad física de la semilla que en una siembra tardía de mediados de junio, debido a que en esta última, la semilla está sometida durante menor período de tiempo a factores ambientales, por lo que es recomendable sembrar el ayocote en siembras tempranas pero con cosechas rápidas para obtener semilla de alta calidad y vigor (Ayala *et al.*, 2006).

## Material y métodos

Este trabajo se llevó a cabo en el Campo Experimental Valle de México, situado en Chapingo, Estado de México, ubicado a una altitud 2 250 msnm, en las coordenadas geográficas 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste. El 30 de abril de 2009, en el ciclo primavera-verano se sembraron 230 variedades nativas de frijol ayocote pertenecientes a la

areas not fertilized with chemicals, bio-fertilizers increase the air mass runner bean performance when grown as an annual plant (Vargas and Irizar, 2008).

Regarding the collection of 798 germplasm accessions, studies of the phenology of 149 plant accessions of Carso Huasteco Karst, in the Sierra Madre Oriental, are part of the collection of 798 accessions of germplasm bank INIFAP showed that early runner beans to maturity (100 to 110 days) were developed by empirical selection sites lower annual average minimum temperature (-2 to 0 °C) and the late (days 110-120) in places with higher average minimum temperature (2-5 °C) (Vargas *et al.*, 2011). Similar results separated 42 runner beans of Puebla, Morelos and Mexico City in early and late. The early flowering in 36-77 days, small seeds and type III growth habit, and later with 78-102 days to flowering, large seeds and type IV growth habit (Castillo *et al.*, 2006).

Another factor in the growth of runner bean is the planting date, whichever is earlier, in early May, we get better yields and better physical quality of the seed sown in mid-late June, because in the latter, the seed is subjected for shortest time to environmental factors, so it is advisable to sow in early plantings runner bean but fast harvests for seed quality and vigor (Ayala *et al.*, 2006).

## Materials and methods

This work was conducted in the Experimental Field Valley of Mexico, located in Chapingo, State of Mexico, located at an elevation of 2 250 meters, at the geographical coordinates: 19° 29' north latitude and 98° 53' west longitude. The April 30, 2009, in the spring-summer 230 seeded of runner bean landraces belonging to the germplasm collection consisting of 798 accessions INIFAP of the domesticated form of runner beans (Cárdenas *et al.*, 1996). This material was collected in the early 60's in various parts of the Central Volcanic Belt and the Sierra Madre Oriental (Table 1).

The experimental design in the field was a 50 x 50 lattice and the experimental plot was a row of 5 m length 0.80 m distanced left a free groove between each plot. Were seeded 7 "hits" per row formed by 4 seeds each. There were three types of data: plant phenology in field of harvested seed size and climate of the original sites collection.

colección de germoplasma del INIFAP constituida por 798 accesiones de la forma domesticada de ayocote (Cárdenas *et al.*, 1996). Este material fue colectado en la década de los años 60 en diversas localidades del Eje Neovolcánico y La Sierra Madre Oriental (Cuadro 1).

### The phenological data and grain size were:

**Days to flowering.** When at least 10% of the plants have one or more flowers. The days to flowering are the number of days after seedling emergence (DAE).

### Cuadro 1. Provincia y subprovincia fisiográfica; localidad y estado de la República Mexicana de donde provienen 231 accesiones de frijol ayocote incluidas en este estudio.

**Table 1. Physiographic province and sub-province; locality and State from which 231 runner beans accessions included in this study.**

Provincia Fisiográfica	Subprovincia fisiográfica	Estados	Localidades
Sierra Madre Oriental	Chiconquiaco	Teziutlan, Toxtlacuaya, Jalapa.	Puebla Veracruz
Eje Neovolcánico	Lagos y Volcanes del Anahuac	Cuautitlan, Tultepec, Villa Guerrero, Huehuetoca, Los Reyes, La Purificación y Toluca. Teziutlan, Acatzingo, Tlaltenango, Tlahuapan, Acajete, Huejotzingo, San Isidro Soltepec, Tepeaca, Esperanza, San Lucas el Grande, Izúcar de Matamoros, Puebla, Atlixco, Tehuacán, Ajalapan y Zacapoaxtla. Huamantla, San Juan Totolac, Villa Alta, San Cosme Xalostoc, Amaxac, Mercado El Carmen, Tlaxcala y Nanacamilpa.	México Puebla Tlaxcala
	Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo	Huichapan y Pachuca, Jilotepec. Querétaro, San Juan del Río, Tequisquiapan y Teteles.	Hidalgo México Querétaro
	Sur de Puebla	Acatlan, Tepeaca y Plan de Guadalupe Tlatonqui,	Puebla
	Neovolcánica Tarasca	La Mesa.	Michoacán

El diseño experimental en campo fue un látice 50 x 50 y la parcela experimental fue de un surco de 5 m de largo distanciada a 0.80 m y se dejó un surco libre entre cada parcela. Se sembraron 7 "golpes" por surco formados por 4 semillas cada uno. Se registraron tres tipos de datos: de fenología de la planta en campo, de tamaño de la semilla cosechada y del clima de los sitios originales de colecta.

### Los datos fenológicos de la planta y tamaño del grano fueron:

**Días a inicio de floración.** Cuando por lo menos 10% de las plantas presentan una o más flores. Los días a floración son el número de días transcurridos después de la emergencia de las plántulas (dde).

**Días a inicio de madurez.** Se determinó como el día en que las vainas color verde empiezan a tornarse color café claro. Los días a madurez son el número de días transcurridos después de la emergencia de las plántulas (dde).

**Days to onset of maturity.** Was determined as the day when the green pods begin to turn light brown. The days to maturity are the number of days after seedling emergence (DAE).

**Weight of grain.** 100 harvested seeds were counted in November 2009, with moisture content between 15 and 17% and weighed on a digital scale brand Oahus.

### Climate data collection sites were:

City or town, state or federal entity, elevation, annual precipitation, average annual, minimum temperature and average annual maximum temperature collection sites of 230 accessions of the cultivated runner beans (landraces). For this data and maps we used those proposed by García (1998) and CONABIO (1998) 1:1 000 000 scale, the "software" Geographic Information Systems (GIS) - ARC-INFO, version 8.0 and the "hardware" SPARCstation, SUN OS, Geographic Information

**Peso del grano.** Se contaron 100 semillas cosechadas en noviembre de 2009, con contenido de humedad entre 15 y 17% y se pesaron en una balanza digital marca OAHUS.

#### **Los datos climáticos de los sitios de colecta fueron:**

Localidad o municipio, estado o entidad federativa, altitud, precipitación total anual, temperatura mínima media anual y temperatura máxima media anual de los sitios de colecta de 230 accesiones de la forma cultivada de frijol ayocote (variedades nativas). Para ello se utilizaron datos y mapas de García (1998) y CONABIO (1998) escala 1:1000000; el "software" Sistemas de Información Geográfica (SIG)-ARC-INFO, versión 8.0 y el "hardware" SPARCstation, SUN OS, versión 5.5.1 del laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (SIG)- del INIFAP. Los sistemas de información geográfica permiten automatizar, modificar, manejar, analizar y desplegar datos geográficos. Basado sobre un diseño de geo relación. ARC INFO provee cientos de herramientas con funciones sofisticadas para el procesamiento de datos geográficos (Ramírez, 2004).

Se determinaron los promedios de días a inicio de floración, días a inicio de madurez y tamaño del grano de las plantas que conforman una misma accesión. Se elaboró una matriz del conjunto de datos fenológicos, tamaño del grano de la planta y climáticos de los sitios de colecta en el Programa Excell de MicrosofOffice, para después importar los datos al Programa "Statistical Analysis System" (SAS, 2002). Se corrieron dos tipos de análisis estadísticos multivariados: componentes principales y otro de conglomerado con el método "complete".

## **Resultados y discusión**

**Análisis de componentes principales.** El análisis que incluyó las siete variables (días a inicio de floración, días a inicio de madurez, peso de 100 granos de la planta y altitud, precipitación, y temperaturas mínima y máxima de los sitios de colecta) explicó 73% de la variabilidad en los primeros tres componentes (Cuadro 2). El primero se relacionó con características físicas y climáticas de los sitios de colecta: altitud, y temperaturas mínima y máxima media anual; el segundo con la fenología de la planta (días a inicio de floración y madurez); y el tercero con el tamaño de semilla (peso de 100 granos), días a floración y precipitación de los sitios de colecta (Cuadro 3).

Systems (GIS) Lab version 5.5.1 - INIFAP. Geographic information systems automate, modify, manage, analyze and display geographic data. Based on a design by geo relationship; ARC INFO provides hundreds of tools with sophisticated features for geographic data processing (Ramírez, 2004).

Averages were determined days to flowering, days to maturity and beginning of grain size of the plants that make the same accession. We developed a matrix of phenological data set, grain size and climatic plant collection sites in Microsof Excell, Office Program, and then import the data to the program "Statistical Analysis System" (SAS, 2002). Running two types of multivariate statistical analysis: main components and a conglomerate with the method "complete".

## **Results and discussion**

**Main component analysis.** The analysis included the seven variables (days to flowering, days to maturity initiation, 100-grain weight and plant height, precipitation, and minimum and maximum temperatures of collecting sites) explained 73% of the variability in the first three components (Table 2). The first related to physical and climatic characteristics of the collection sites: elevation, and minimum and maximum temperature of annual average, the second with plant phenology (days to flowering and maturity), and the third with the size of seed (weight of 100 grains), days to flowering and precipitation collection sites (Table 3).

**Cluster analysis.** The coefficient of distance used (squared Euclidean distance) represented the similarity as the proximity of the accessions. It is a measure of differences where higher values indicate less similarity and zero was indicative of maximal similarity. Extreme values were: 0.003 between accessions 8 618 and 8 620 until the clusters 1 to 4 of 2 484, while the average distance between observations reached a value of 718.7

In general, runner beans formed four groups: the first with short growing season (132-141 DAE) and small seeds (73-82 g), the second long cycle (162-171 DAE) and small seed (73-82 g), and the third and fourth groups long cycle (160-174 dph) but with larger seeds (81-97 g) (Table 4).

**Cuadro 2. Valor característico y proporción de la varianza explicada en el análisis de componentes principales en la caracterización de frijol ayocote.****Table 2. Characteristic value proportion of variance explained by main component analysis in the characterization of runner beans.**

Componente principal	Valores propios	Proporción	Proporción acumulada
1	2.267	0.3239	0.3239
2	1.582	0.2261	0.5500
3	1.299	0.1856	0.7345

**Cuadro 3. Vectores propios de los primeros tres componentes principales en la caracterización de frijol ayocote.****Table 3. Vectors of the first three main components in the characterization of runner beans.**

Caracteres	Componentes principales		
	1	2	3
Días a floración	0.015	<b>0.502</b>	<b>0.521</b>
Peso de 100 semillas	-0.153	-0.035	<b>-0.533</b>
Días a madurez	0.137	<b>0.628</b>	0.127
Altitud	<b>-0.507</b>	0.295	-0.146
Precipitación	-0.108	-0.470	<b>0.584</b>
Temperatura mínima	<b>0.588</b>	-0.146	0.044
Temperatura máxima	<b>0.584</b>	0.145	-0.249

**Análisis de conglomerado.** El coeficiente de distancia utilizado (distancia euclidiana al cuadrado) representó la similitud como la proximidad de las accesiones. Es una medida de diferencias donde los valores elevados indicaron una menor similitud y cero fue el indicativo de máxima similitud. Los valores extremos fueron: de 0.003 entre las accesiones 8 618 y 8 620 hasta la de los conglomerados 1 y 4 de 2.484, en tanto que la distancia media entre observaciones alcanzó un valor de 718.7

En general se formaron cuatro grupos de ayocotes: el primero con ciclo de cultivo corto (132-141 dde) y semilla pequeña (73-82 g), el segundo con de ciclo largo (162-171 dde) y también semilla pequeña (73-82 g), y el tercero y cuarto grupos de ciclo largo (160-174 dde) pero con semilla más grande (81-97 g) (Cuadro 4).

The accessions with short growing season were domesticated in high and cold sites (groups one and three) and long cycle: either in sites less high and less cold (Group two) or in places that even very high, Annual average minimum temperature fails to have values below zero degrees (group 4).

Physiographic subprovince and detailed response to climate plant domestication sites.

The dendrogram grouped the accessions according to their geographical origin: the first with the subprovince Chiconquiaco accessions in the Sierra Madre Oriental, and the remaining three with runner beans of subprovinces, Lakes and Volcanoes of Anáhuac, Plains and Sierras de Querétaro and Hidalgo, Neovolcanic southern Puebla and Neovolcanic Tarasca (Figure 1).

**Cuadro 4. Moda de los caracteres de la planta de frijol ayocote y de sus sitios de colecta agrupados en el análisis de conglomerado de 7 variables.****Table 4. Mode characters of the runner beans and its collection sites grouped in the cluster analysis of 7 variables.**

Caracteres	Primer grupo	Segundo grupo	Tercer grupo	Cuarto grupo
Altitud (msnm)	2 000	1 600	2 260	2 410-2 509
Temperatura mínima (°C)	-1	4.5	-1	1
Temperatura máxima (°C)	23	31	27	27
Precipitación (mm)	1350-1360	900	900	700
Días a floración (dde)	40-50	35-44	69-78	57-66
Días a madurez (dde)	132-141	165-174	162-171	160-169
Peso de 100 semillas (g)	72-81	81-90	73-82	88-97

Las accesiones con ciclo de cultivo corto fueron domesticadas en sitios altos y fríos (grupos uno y tres) y los de ciclo largo: o bien en sitios menos altos y menos fríos (grupo dos) o bien en sitios que aunque sean muy altos, su temperatura mínima media anual no llega a tener valores por debajo de cero grados (grupo 4).

A continuación se nombra la subprovincia fisiográfica y se detalla la respuesta de la planta al clima de los sitios de domesticación.

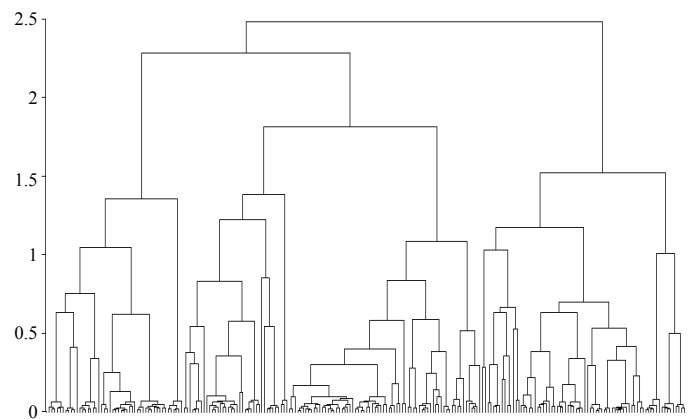
El dendrograma agrupó las accesiones de acuerdo a su origen geográfico: el primero con accesiones de la subprovincia Chiconquiaco en la Sierra Madre Oriental, y los tres restantes con ayocotes de las subprovincias, Lagos y Volcanes del Anáhuac, Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, Sur de Puebla y Neovolcánica Tarasca en el Eje Neovolcánico (Figura 1).

Las accesiones del primer grupo pertenecen: 42 a Chiconquiaco, 7 a Lagos y Volcanes del Anáhuac y una accesión de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. Éste grupo de materiales fueron de ciclo corto, precoces a floración, madurez y de semilla chica. Se presume fueron domesticadas en sitios con altitudes de 2 000 msnm, con temperatura mínima que baja de cero grados y precipitación abundante de más de 1 000 mm anuales.

El segundo grupo comprende 21 accesiones de Lagos y Volcanes del Anáhuac, 12 del Sur del Puebla, y 5 de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo. Éstas son de ciclo más largo, ya que aunque acortaron en alrededor de 5 días su floración, alargaron hasta 33 días su madurez, lo que ocasionó semilla más grande que el primer grupo. Éstos materiales fueron domesticados en sitios más bajos y más calientes y con precipitación anual menor a 1 000 mm.

En cuanto al tercer grupo, las accesiones con mayor presencia fueron 54 de Lagos y Volcanes del Anáhuac, 11 de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo y cinco del Sur de Puebla. Estos ayocotes, a pesar de tener un ciclo de cultivo largo, su semilla fue pequeña debido a que alargaron su período vegetativo floreciendo más tarde, y acortando su período reproductivo que duró apenas 93 días, en comparación con el grupo dos que duró 130 días. Este material proviene de sitios altos y fríos con una precipitación que no alcanza los 1 000 mm.

El cuarto grupo se formó con 56 accesiones de Lagos y Volcanes del Anáhuac, 9 de Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo y 9 de Neovolcánica Tarasca. Fueron los ayocotes



**Figura 1. Dendrograma de 230 variedades nativas mexicanas de frijol ayocote de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico con base en caracteres de la planta y su sitio de domesticación.**

**Figure 1. Dendrogram of 230 Mexican native varieties of runner beans of the Sierra Madre Oriental and Neovolcanic based on plant traits and domestication site.**

The accessions of the first group belong to Chiconquiaco 42, 7 to Lakes and Volcanoes of Anahuac and an accession of Plains and Sierras de Querétaro and Hidalgo. This group of materials were of short cycle, early flowering, maturity and small seeds. Presumably domesticated in places with elevations of 2 000 m, with minimum temperature falls below zero degrees and abundant rainfall of over 1 000 mm annually.

The second group comprises 21 accessions of Lakes and Volcanoes of Anahuac, South 12 Puebla, and 5 of Plains and Sierras de Querétaro and Hidalgo. These are of longer cycle, because although shortened by about five days to flower, lengthened to 33 days maturity, resulting in larger seed than the first group. These materials were domesticated in places lower and warmer, with annual rainfall less than 1 000 mm.

As for the third group, with the largest accessions were 54 of Lakes and Volcanoes of Anahuac, 11 Plains and Sierras de Querétaro and Hidalgo and 5 South of Puebla. These runner beans, despite having a long growing season, their seed was small because blooming extended their growing season later, and shortening their reproductive period that lasted only 93 days, compared with group two that lasted 130 days. This material comes from high and cold sites with precipitation that does not reach 1 000 mm.

The fourth group was formed with 56 accessions of Lakes and Volcanoes of Anáhuac, 9 Plains and Sierras de Querétaro and Hidalgo and 9 from Tarasca Neovolcanic.



más tardíos a floración y madurez lo que les permitió alcanzar el mayor tamaño de semilla. Fueron domesticadas en sitios muy altos (>2400 m) con la menor ocurrencia de precipitación y temperatura mínima que no baja de cero grados.

## Conclusiones

El clima de los sitios de domesticación del frijol ayocote del centro de México actúa como fuente de diversidad fenológica y tamaño de semilla.

Los frijoles ayocotes de la Sierra Madre Oriental, subprovincia Chiconquiaco, se diferenciaron de los del Eje Neovolcánico, por su ciclo de cultivo más corto y semilla pequeña.

Los frijoles ayocotes del Eje Neovolcánico tuvieron ciclos de cultivo más largos y semilla de mayor tamaño.

A su vez los ayocotes del Eje Neovolcánico fueron diferentes en su plasticidad fenológica. Algunos alargan su período vegetativo y acortan el reproductivo disminuyendo así el tamaño de semilla. En cambio otros, a pesar de ser de lugares muy altos y muy fríos mantienen su ciclo de cultivo largo y su tamaño de semilla.

## Agradecimientos

La autora principal y coautores agradecen el financiamiento para este trabajo por parte del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas-Sistema Nacional de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

## Literatura citada

- Ayala, G. O. J.; Richardo, G. J. M.; Estrada, G. J. A.; Carrillo, S. J. A. y Hernández, L. A. 2006. Rendimiento y calidad de semilla del frijol ayocote en el Valle de México. *Agric. Téc. Méx.* 32(3):313-321.
- Cárdenas, R. F. A.; Muruaga, M. J. S. y Acosta, G. J. A. 1996. Catálogo: banco de germoplasma de *Phaseolus* spp. del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) 1<sup>ra</sup> edición. Toluca, Estado de México. 235-258 pp.

They were the most late runner beans to flowering and maturity enabling them to achieve the highest seed size. They were domesticated in very high (> 2 400 m) with the least occurrence of precipitation and minimum temperature does not drop below zero degrees.

## Conclusions

The climate of the sites of domestication of runner beans in Central Mexico acts as a source of phenological diversity and seed size.

The runner beans from the Sierra Madre Oriental, Chiconquiaco subprovince, differed from those of the Central Volcanic Belt, by its shorter growing cycle and small seed.

The runner beans from the Neovolcanic belt had longer crop cycles and larger seed.

In turn the Neovolcanic runner beans were different in their phenological plasticity. Some extend their growing season and reduce the reproductive decreasing seed size. Instead, others, despite being of very high and very cold places retain their long growing season and seed size.

*End of the English version*



- Castillo, M. M.; Ramírez, V. P.; Castillo, G. F. y Miranda, C. S. 2006. Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del Estado de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(2):111-119.
- García, E. 1998. Precipitación total anual: escala 1:1000000. México. Comisión Nacional para el Uso de la Biodiversidad (CONABIO). [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx).
- Muruaga, M. J. S. 1996. Descripción varietal del frijol ayocote "Blanco Tlaxcala". SAGARPA-INIFAP-Fundación Produce Tlaxcala. Chapingo, México. Desplegable para productores. 2 p.
- Muruaga, M. J. S.; Cárdenas, R. F. y Acosta, G. J. A. 1992. Hibridación natural y métodos de polinización manual en *Phaseolus coccineus* L. *In: Memoria de la XXXVIII Reunión Anual Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios y Animales*. Managua, Nicaragua. 307-311 pp.
- Ramírez, R. M. 2004. Apuntes de sistemas de información geográfica para el curso 2004 "A". [www.docstoc.com/docs/20194074/conceptos-basicos-de-los-sistemas-de-informacion-geografica](http://www.docstoc.com/docs/20194074/conceptos-basicos-de-los-sistemas-de-informacion-geografica).

- Rodiño, A. P.; Lema, M.; Pérez, B. M.; Santalla, M. y de Ron, A. M. 2006. Assessment of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) germplasm for tolerance to low temperature during early seedling growth. *Euphytica* 155:63-70.
- Santalla, M.; Monteagudo, A. B.; González, A. M. y de Ron, A. M. 2004. Agronomical and quality traits of runner bean germplasm and implications for breeding. *Euphytica* 135:205-215.
- Rosales, S. R.; Acosta, G. J. A.; Muruaga, M. J. S.; Hernández, C. J. M.; Esquivel, E. G. y Pérez H., P. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP-SAGARPA. Libro técnico Núm. 148.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute Inc. 2002. Statistical Analysis System, version 9.00 Cary, NC, USA.
- Vargas, V. P. e Irizar, G. M. 2001. Distribución de materia seca en el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), variedad Blanco Tlaxcala. *Agric. Téc. Méx.* 27(1):69-71.
- Vargas, V. P. e Irizar G. M. 2008. Rendimiento y acumulación de biomasa de ayocote inoculado con biofertilizantes microbianos. *In: 1<sup>er</sup> Congreso Internacional y Feria Nacional del Frijol 22-24 de mayo, Celaya Guanajuato.* Acosta, G. J. A. (Ed.). Primera edición. INIFAP. México, D. F. 20-21 pp.
- Vargas, V. P.; Muruaga, M. J.; Martínez, V. S.; Ruiz, S. R.; Hernández, D. S. y Mayek, P. N. 2011. Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México. *UNAM. Rev. Mex. Biodiversidad* 82:767-775.
- Zavala, O. J. A.; Vargas, V. P. y Muruaga, M. J. S. 2000. Comparación del desarrollo de tres variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y una de frijol ayocote (*P. coccineus*). *Agric. Téc. Méx.* 26(2):173-181.