

## Caracterización de genotipos criollos de frijol Tepari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) y común (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo temporal\*

## Characterization of creole genotypes of tepary bean (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) and common (*Phaseolus vulgaris* L.) under rainfed

José Cruz Jiménez Galindo<sup>1</sup> y Jorge Alberto Acosta Gallegos<sup>2§</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Ave. Hidalgo 1213. Col. Centro Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua. C. P. 31500. jimenez.cruz@inifap.gob.mx. <sup>2</sup>Campo Experimental Bajío. Carretera Celaya-San Miguel de Allende, km 6.5. C. P. 38110. CEBAJ-INIFAP, Celaya, Guanajuato. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: acosta.jorge@inifap.gob.mx.

### Resumen

México es considerado como un centro primario de diversidad de algunas especies cultivadas, entre ellas los frijoles común y Tepari. El objetivo fue identificar variedades criollas de las especies mencionadas con características agronómicas sobresalientes para su utilización en el mejoramiento genético del frijol común. De un grupo de materiales recolectados en Chihuahua, Durango y Sonora, se seleccionaron 11 genotipos contrastantes en cuanto a tamaño de grano, precocidad y rendimiento. Se evaluaron durante 2010 y 2011 bajo condiciones de temporal en Bachiniva, Chihuahua (28° 47' 19.32", latitud norte, 107° 16' 11.64" longitud oeste, 2012 msnm), nueve genotipos de frijol común y dos de frijol tepari y se compararon con la variedad dominante en el mercado, Pinto Saltillo. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se utilizó la dosis de fertilización 30-50-00 de N-P-K incorporada al suelo durante la siembra. En 2010 el genotipo de frijol común 'Amarillo Guachochi' fue el de mayor rendimiento con 1 599 kg ha<sup>-1</sup>, 25.4% más que Pinto Saltillo. El frijol Tepari Café, a pesar de su bajo peso de 100 semillas, estuvo entre los de mayor rendimiento en 2010, mostrando un potencial de rendimiento similar al del testigo. En 2011 las condiciones fueron de extrema sequía, así, el genotipo Rosa La Bufa con 376 kg ha<sup>-1</sup>, fue el de

### Abstract

Mexico is considered a primary center of diversity of cultivated species, including common and tepary beans. The objective was to identify creole varieties of the species mentioned with outstanding agronomic characteristics for use in genetic improvement of common bean. From a group of materials collected in Chihuahua, Durango and Sonora, 11 genotypes were selected as contrasting grain size, earliness and yield. Were evaluated during 2010 and 2011 under rainfed conditions in Bachiniva, Chihuahua (28° 47' 19.32", north latitude, 107° 16' 11.64" west longitude, 2012 meters above sea level), nine genotypes of common bean and two tepary bean were compared with the dominant variety, Pinto Saltillo. A completely randomized block with four replications was used. A fertilization dose of 30-50-00 NPK was incorporated into the soil at planting. In 2010, the common bean genotype 'Yellow Guachochi' had the highest yield with 1 599 kg ha<sup>-1</sup>, 25.4% more than Pinto Saltillo. The brown tepary bean, despite its low weight of 100 seeds, it was among the top producers in 2010, showing a yield potential similar to the control. In 2011 the conditions were extremely dry, so the genotype Rosa La Bufa with 376 kg ha<sup>-1</sup> had the highest yield. Through years, Pinto Saltillo was the most stable in grain weight, which in 2011 was reduced by less than

\* Recibido: diciembre de 2011  
Aceptado: septiembre de 2012

mayor rendimiento. A través de años, Pinto Saltillo fue el más estable en peso del grano cuyo peso en 2011 se redujo en menos del 1% en comparación con 2010; también los dos genotipos de frijol Tepari mostraron el mismo peso de grano en ambos años. Se identificaron genotipos de frijol común de mayor precocidad, potencial de rendimiento y tamaño de grano que el testigo que pudieran ser utilizados en el mejoramiento.

**Palabras clave:** frijol Tepari, frijol común, mejoramiento genético, precocidad.

## Introducción

En la región productora de frijol de Chihuahua, comprendida principalmente por los municipios de Namiquipa, Riva Palacio, Cuauhtémoc, Cusihuriachi y Guerrero, el rendimiento promedio de frijol en años normales en precipitación (precipitación adecuada para el cultivo) es de 1 337 kg ha<sup>-1</sup>, en años regulares es de 785 kg ha<sup>-1</sup> y en años con sequía severa es de 367 kg ha<sup>-1</sup> (Ávila *et al.* 2003). Esta situación es similar en todo el altiplano semiárido, que abarca desde Chihuahua hasta el centro de Querétaro. La necesidad de aumentar la productividad y producción del frijol común en México es urgente, ya que el rendimiento medio de este cultivo se ha mantenido en alrededor de 760 kg ha<sup>-1</sup> (SAGARPA, 2010), e inclusive en 2011 por efecto de una severa sequía registrada en el Altiplano, la cosecha solo representó 35% de lo que obtiene normalmente en el ciclo primavera-verano.

La diversidad genética es la base del fitomejoramiento de cualquier especie; así, el éxito de un programa de mejoramiento depende de la disponibilidad de diversidad genética y la elección del método o métodos más apropiados para resolver el o los problemas que se van a atacar (Cárdenas, 2000; Singh, 2002). En la actualidad se sabe que México es un centro de origen y diversidad primaria de los frijoles común (Bitocchi *et al.*, 2012) y Tepari (Debouck, 1999; Muñoz *et al.*, 2006), entre otros. En un estudio sobre la distribución de 25 especies silvestres el género *Phaseolus* en México, López *et al.* (2005) señalaron que por su distribución *P. acutifolius* se encuentra entre las de menor requerimiento de humedad, con alta adaptación a ambientes cálidos; es decir, es tolerante al calor.

La principal área de distribución, y probablemente de origen, de *P. acutifolius* es el desierto sonorense de Norte América; esta planta es de ciclo corto y produce grano

1% compared to 2010, also the two tepary bean genotypes showed the same grain weight in both years. There were identified common bean genotypes of increased earliness, yield potential and grain size than the control that could be used in breeding.

**Key word:** common bean, earliness, genetic improvement, tepary bean.

## Introduction

The bean-producing region of Chihuahua, including mainly the towns of Namiquipa, Riva Palacio, Cuauhtémoc, Cusihuriachi and Guerrero, the average yield of beans in normal years with precipitation (rainfall adequate for cultivation) is 1 337 kg ha<sup>-1</sup>, in regular years is 785 kg ha<sup>-1</sup> and in years of severe drought is 367 kg ha<sup>-1</sup> (Ávila *et al.* 2003). This situation is similar throughout the semiarid highlands, ranging from Chihuahua to the center of Querétaro. The need to increase productivity and production of common bean in Mexico is urgently needed because the average yield of this crop has remained at about 760 kg ha<sup>-1</sup> (SAGARPA, 2010), and even in 2011 as a result of a severe drought in the highlands, harvesting only represented 35% of that normally obtained in the spring-summer.

Genetic diversity is the basis for breeding of any species; so the success of a breeding program depends on the availability of genetic diversity and choice of method or methods appropriate for resolution of the issues that are going to attack (Cárdenas, 2000; Singh, 2002). Today is known that Mexico is a center of origin and primary diversity of common beans (Bitocchi *et al.*, 2012) and tepary (Debouck, 1999, Muñoz *et al.*, 2006), among others. In a study on the distribution of 25 wild species of the genus *Phaseolus* in Mexico, López *et al.* (2005) noted that its distribution *P. acutifolius* is between the lower requirements of moisture with high adaptation to warm environments, ie, is heat tolerant.

The main area of distribution and probably origin, of *P. acutifolius* is in the Sonoran Desert of North America, this plant is short-cycle and produce high quality grain protein suitable for human nutrition and has resistance to common blight (*Xanthomonas campestris* pv *phaseoli*). However, most of the diversity available in wild and landraces of

de alta calidad proteína adecuada a la nutrición humana y posee resistencia al tizón común (*Xanthomonas campestris* pv *phaseoli*). Sin embargo, la mayor parte de la diversidad disponible en la forma silvestre y variedades criollas de esas especies permanece sin utilizarse y debido a un efecto de ‘cuello de botella’ ocurrido durante el proceso de domesticación a partir de un reducido número de poblaciones silvestres, existe mayor diversidad en la forma silvestre de ambas especies. En particular, la diversidad disponible en el frijol Tepari cultivado, es muy baja (Debouck, 1999).

Por otra parte, el desarrollo de variedades de frijol de mayor potencial de rendimiento en condiciones de temporal, es fundamental para mejorar la competitividad del sistema productivo y son un factor que podría mitigar el déficit nacional para suplir las necesidades alimenticias de la población con una fuente de bajo costo, rica en aminoácidos y carbohidratos (López y Ligarreto, 2006). Para lograr lo anterior, además de recursos económicos, es necesario contar con recursos genéticos diversos que permitan identificar y utilizar fuentes de características específicas superiores, como son la precocidad y resistencia a la sequía, características importantes para disminuir los riesgos en la producción de frijol bajo temporal en la región semiárida.

La generación de variedades con alto rendimiento y tolerancia a los principales factores bióticos y abióticos, con las características de calidad de grano que demandan los consumidores, es uno de los objetivos primordiales del programa de mejoramiento genético del frijol (Acosta *et al.*, 2004). Para lograr avances sistemáticos en el mejoramiento es necesario disponer de una amplia base genética (Singh, 2002).

El objetivo de esta investigación fue determinar el rendimiento de doce genotipos de frijol común y Tepari recolectados en Chihuahua, Durango y Sonora, con el fin de detectar materiales con mayor rendimiento, mayor tamaño de grano y mayor precocidad que la variedad de frijol Pinto Saltillo, con fines de mejoramiento genético. Se evaluaron bajo condiciones de temporal genotipos contrastantes en cuanto a tamaño de grano, precocidad y rendimiento.

## Materiales y métodos

**Localidad de prueba.** La investigación se llevó a cabo durante los ciclos primavera-verano 2010 y 2011 en terrenos de la Estación Experimental del Instituto Nacional

these species remains without use and due to an effect of 'bottleneck' occurred during the domestication process from a small number of wild populations, there is greater diversity in the wild form of both species. In particular, the diversity available in cultivated tepary beans is very low (Debouck, 1999).

Moreover, the development of bean varieties of higher yield under rainfed conditions, it is essential to improve the competitiveness of the product and are a factor that could mitigate the national deficit to meet the nutritional needs of the population with a source of low cost, rich in amino acids and carbohydrates (López and Ligarreto, 2006). To achieve this, in addition to financial resources, it is necessary to have diverse genetic resources to identify and use sources of higher specific characteristics such as earliness and resistance to drought, important features to reduce the risks in the production of beans under rainfed in the semiarid region.

The generation of varieties with high yield and tolerance to major biotic and abiotic factors, with the characteristics of grain quality that consumers demand, is one of the primary objectives of the program of genetic improvement of beans (Acosta *et al.*, 2004). To achieve systematic progress in breeding is necessary to have a broad genetic base (Singh, 2002).

The objective of this research was to determine the yield of twelve genotypes of common and tepary bean collected in Chihuahua, Durango and Sonora, in order to detect materials with higher yield, grain size and earlier flowering than the bean cultivar of Pinto Saltillo, with breeding purposes. These were evaluated under rainfed conditions contrasting genotypes in terms of grain size, earliness and yield.

## Materials and methods

**Test location.** The research was conducted during the spring-summer cycle 2010 and 2011 on the grounds of the Experimental Station of the National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) in Bachiniva, Chihuahua, Mexico: 28° 47' 19.32", north latitude, 107° 16' 11.64", west longitude at an altitude of 2012 meters above sea level. The soil at the experimental site is a clay loam soil with 43% sand, 28.72% silt, 28.28% clay, free of salts, high

de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en Bachiniva, Chihuahua, México: 28° 47' 19.32", de latitud norte, 107° 16' 11.64" longitud oeste, a una altitud de 2012 msnm. El suelo del sitio experimental es un suelo franco arcilloso con 43% de arena, 28.72% de limo y 28.28% de arcilla, libre de sales, alto contenido de materia orgánica (2.01%); el terreno tiene una leve pendiente menor de 1%. Este suelo se considera representativo de los suelos cultivables de la región.

**Conducción del ensayo.** Se establecieron doce genotipos de frijol (Cuadro 1), 12 semillas por m lineal de surco; la siembra se realizó en 2010, el 3 y 15 de julio en 2011. Se determinaron las siguientes características: días a floración y a madurez fisiológica determinados a partir de la siembra, rendimiento en kg ha<sup>-1</sup> y peso de 100 semillas en g. Se utilizó la dosis de fertilización 30-50-00 de N-P-K, aplicada al momento de la siembra. De los genotipos evaluados, ocho fueron recolectados en áreas de temporal del estado de Chihuahua: Amarillo Guachochi, Ojo de Cabra 098, Blanco California, Pinto 343, Cabra La Bufa, Pinto Saltillo, Morado 420, Rosa la Bufa, dos en Durango: Rojo Cuarentero y Bayo Blanco y dos en Sonora: Tepari Café y Tepari RS, éstos dos últimos de la especie *Phaseolus acutifolius* L., mientras que los diez primeros de *P. vulgaris* L. Todos los genotipos son de hábito indeterminado postrado tipo III (Singh, 1982).

organic matter content (2.01%), the ground has a slope less than 1%. This soil is considered representative of the arable land of the region.

**Conducting the test.** Settled twelve genotypes of bean (Table 1), 12 seeds per linear meter of row; the trial was established in 2010, the 3 and 15 of July 2011. Were determined the following characteristics: days to flowering and physiological maturity determined from sowing, yield in kg ha<sup>-1</sup> and 100 seed weight in grams. It was used a dose of 30-50-00 NPK fertilizer, applied at planting time. Of the genotypes evaluated, eight were collected in rainfed areas of the state of Chihuahua: Yellow Guachochi, Ojo de Cabra (goat eye) 098, California White, Pinto 343, Goat La Bufa, Pinto Saltillo, Purple 420, Rosa Bufa, two in Durango: Red Cuarentero and white Bayo and two in Sonora: brown tepary and tepary RS, the latter two of the species *Phaseolus acutifolius* L., while the top ten of *P. vulgaris* L. All genotypes are of indeterminate growth habit type III (Singh, 1982).

A randomized complete block design with four replications was used. Each replication consisted of two rows of 6 m in length. To calculate the grain yield per hectare was standardized to 11% humidity. To analyze the data determined in the trial, was used the statistical

**Cuadro 1. Número de plantas cosechadas, rendimiento y peso de 100 semillas de 12 genotipos de frijol producidos bajo condiciones de temporal en Bachiniva, Chihuahua.**

**Table 1. Number of plants harvested, yield and 100 seed weight of 12 bean genotypes grown under rainfed conditions in Bachiniva, Chihuahua.**

Genotipo	2010			2011		
	Plantas m <sup>1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	P100S <sup>2</sup>	Plantas m <sup>1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	P100S <sup>2</sup>
Amarillo Guachochi	8.55	1 599	35	8.14	319	26
Tepari café	6.65	1 448	12	5.30	223	13
Ojo de Cabra 098	8.47	1 429	31	8.94	216	20
Blanco California	9.05	1 390	37	7.40	270	22
Pinto 343	8.35	1 331	33	7.90	89	27
Cabra la Bufa	8.57	1 324	31	9.54	263	21
Pinto Saltillo	8.55	1 275	29	9.20	183	29
Morado 420	8.62	1 249	36	8.94	327	23
Rojo Cuarentero	8.00	1 186	25	8.80	252	25
Rosa La Bufa	8.42	1 118	31	8.50	376	21
Bayo Blanco	7.85	983	35	7.80	302	26
Tepari RS	7.77	912	11	7.74	230	12
Media	8.23	1 271	29	8.20	255	22
DMS 0.05	1.6	284	1.1	1.51	70.4	5.3
CV %	7.7	9.0	0.99	14.8	11.1	9.7

<sup>1</sup>Número de plantas cosechadas por m lineal de surco; a la siembra se depositaron 12 semillas viables por m lineal; <sup>2</sup>P100S= peso de cien semillas en g.

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición constó de dos surcos de 6 m de longitud. Para calcular el rendimiento por hectárea el grano fue estandarizado a 11% de humedad. Para analizar los datos determinados en los ensayos, se utilizó el paquete estadístico SAS V.1.0 (SAS, Institute, 2004) y para la comparación de cada genotipo con el testigo Pinto Saltillo la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) a una  $p < 0.05$ .

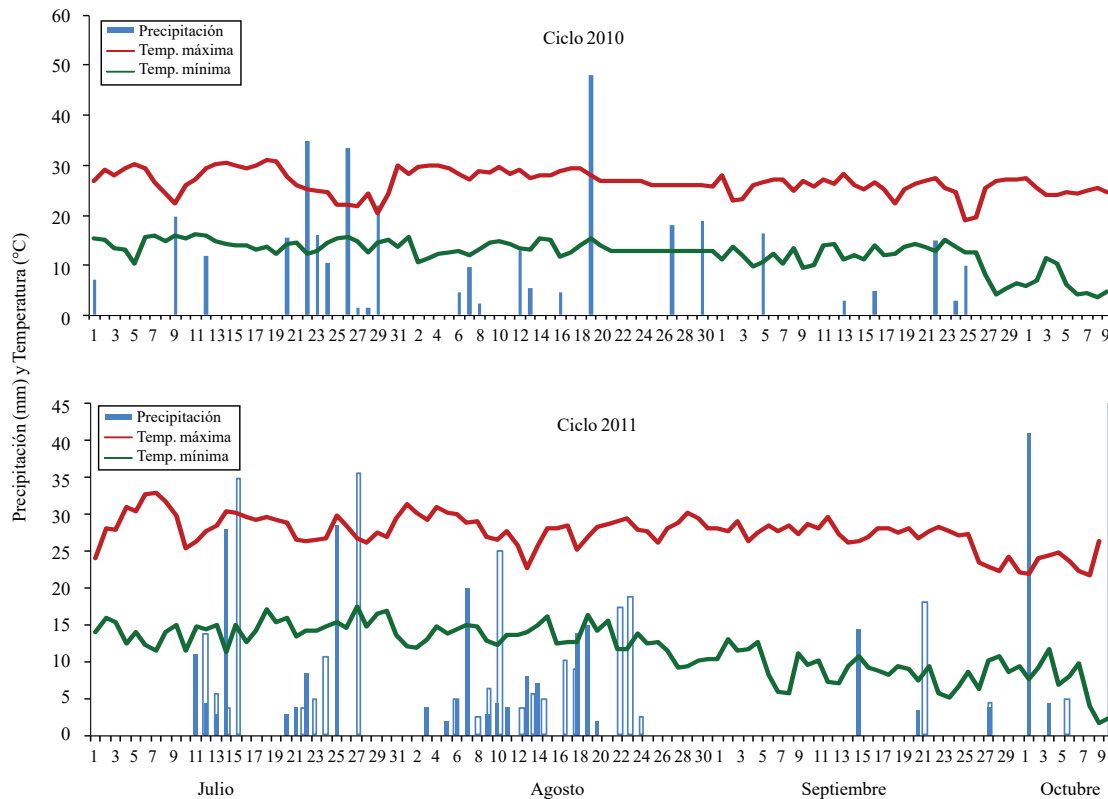
**Contrastes ortogonales.** Con los resultados del rendimiento de cada ciclo de cultivo se realizó un análisis de contrastes ortogonales (Steel y Torrie, 1996), para ello se utilizó el paquete SAS arriba mencionado. Los contrastes evaluados fueron: 1) Tepari vs frijol común; 2) Tepari vs Pinto Saltillo; y 3) criollos de frijol común vs Pinto saltillo. Se realizaron por año porque los resultados de cada año fueron diferentes debido a las diferencias entre años en la precipitación ocurrida en el sitio experimental (Figura 1) y en consecuencia en el nivel de rendimiento obtenido.

package SAS V.1.0 (SAS Institute, 2004) and for comparison of each genotype with the Pinto Saltillo control was used the test of least significant difference (LSD) at  $p < 0.05$ .

**Orthogonal contrasts.** With the results of yield of each crop cycle and analysis of orthogonal contrasts was performed (Steel and Torrie, 1996), for this was used the SAS package mentioned above. The evaluated contrasts were: 1) Tepary vs common bean; 2) tepary vs Pinto Saltillo; and 3) common bean creole vs Pinto Saltillo. Were conducted by year because each year's results were different due to differences between years in precipitation occurred at the experimental site (Figure 1) and consequently the level of yield obtained.

### Results and discussion

Rainfall during the growing season in 2010 was 351 mm, considered as suitable for rainfed production of beans, mainly because of its distribution. In 2011 only 246 mm



**Figura 1. Precipitación y temperatura máxima y mínima en el Campo Experimental Bachiniva, Chihuahua, México. Ciclos primavera-verano 2010 y 2011.**

**Figure 1. Precipitation, maximum and minimum temperature in the Experimental field of Bachiniva, Chihuahua, Mexico; spring-summer cycle of 2010 and 2011.**



## Resultados y discusión

La precipitación durante el ciclo de cultivo en 2010 fue de 351 mm, considerándose como adecuada para la producción de frijol de temporal, principalmente por su distribución. En 2011 sólo llovió 246 mm (Figura 1) con una severa sequía intraestival provocada por un periodo de 24 días sin precipitación, considerándose como un año con sequía severa para la para producir frijol de temporal en el estado (Ávila *et al.*, 2009).

### Rendimiento de grano

En 2010 se observaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre genotipos; la colecta de frijol común Amarillo Guachochi obtuvo el mayor rendimiento con 1 599 kg ha<sup>-1</sup>, 25.4% más que Pinto Saltillo; también fueron de alto rendimiento los genotipos Tepari Café de *P. acutifolius*, Ojo de Cabra 098, Blanco California, Pinto 343 y Cabra La Bufa de frijol común *P. vulgaris* (Cuadro 1). Es importante señalar que el alto rendimiento obtenido por el Tepari Café, fue debido a un alto número de semillas por unidad de superficie, ya que el peso de su grano es muy bajo (Cuadro 1) (Debouck, 1999).

En este ciclo, debido a la presencia de patógenos del suelos hubo incidencia de pudriciones de raíz, probablemente por *Fusarium* spp. y el Tepari Café presentó mayor mortandad de plantas con 44.5% y el Blanco California el menor grado con 25% (Cuadro 1). Estos porcentajes de reducción se calcularon al considerar la siembra de 12 semillas por m lineal de surco y el número de plantas cosechadas por parcela. Resultados similares de rendimiento para Pinto Saltillo bajo condiciones de temporal fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001). Rendimientos similares para frijol Tepari han sido reportados (Nabhan y Felger, 1978; Nahban y Teiwes, 1983; Pratt y Nahban, 1988; Debouck, 2011). A pesar del alto porcentaje de plantas muertas por pudriciones de raíz y de haber sido recolectado en Sonora, el Tepari Café mostró alto potencial de rendimiento en el sitio experimental; sin embargo, su uso en el mejoramiento del frijol común no será en el corto plazo por problemas inherentes a la dificultad de recuperar progenies viables en cruza inter específicas ya que esta especie forma parte del acervo terciario del frijol común (Debouck, 1999).

Por otra parte, el genotipo Blanco California se podrá utilizar como fuente de resistencia a las pudriciones de la raíz, característica rara en genotipos con este color de grano, los que se consideran susceptibles por falta de pigmentos en la testa (Basra, 1995).

of rain (Figure 1) with a severe season of drought caused by a period of 24 days without rainfall, considered as a severe drought year for the time to produce beans of rainfed in the state (Ávila *et al.*, 2009).

### Grain yield

In 2010 there were highly significant differences ( $p < 0.01$ ) among genotypes; the collection of common Yellow Guachochi bean had the highest yield with 1 599 kg ha<sup>-1</sup>, 25.4% more than Pinto Saltillo; also had a high yielding genotypes of brown tepary *P. acutifolius*, Ojo de Cabra (goat eye) 098, California White, Pinto 343 and Goat La Bufa of common bean *P. vulgaris* (Table 1). Is important to note that, the high yield obtained by the brown tepary, was due to a high number of seeds per unit area, since the weight of its grain is very low (Table 1) (Debouck, 1999).

In this cycle, due to the presence of soil pathogens, were incidence of root rot, probably by *Fusarium* spp. and brown tepary had higher plant mortality with 44.5% and White California the least with 25% (Table 1). These percentages are calculated by considering seeding of 12 seeds per meter of linear row and the number of harvested plants per plot. Similar results for yield in Pinto Saltillo under rainfed conditions were reported by Sanchez *et al.* (2001). Similar yields for tepary beans have been reported (Nabhan and Felger, 1978; Nahban and Teiwes, 1983; Pratt and Nahban, 1988; Debouck, 2011). Despite the high percentage of plants killed by root rot and being collected in Sonora, the brown tepary showed high yield potential at the experimental site; however, their use in common bean breeding is not in the short term by problems inherent to the difficulty of recovering viable progeny inter specific crosses as this species is part of the tertiary pool of common bean (Debouck, 1999).

Moreover, the California White genotype may be used as a source of resistance to root rot, a rare feature in genotypes with this color of grain, which are considered susceptible for the lack of pigment in the testa (Basra, 1995).

In 2011 there were highly significant differences ( $p < 0.01$ ) for grain yield, being the best genotype of common bean Rosa La Bufa with a yield of 376 kg ha<sup>-1</sup>, 105% more than Pinto Saltillo; there were also higher in yield than all other genotypes except Pinto 343. In a similar way to 2010, the brown tepary had higher mortality of plants by root rots by

En 2011 se observaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p < 0.01$ ) para rendimiento de grano, siendo el mejor genotipo de frijol común el Rosa La Bufa con un rendimiento de 376 kg ha<sup>-1</sup>, 105% más que Pinto Saltillo; también fueron superiores en rendimiento todos los demás genotipos excepto Pinto 343. En forma similar a 2010, el Tepari Café presentó mayor mortalidad de plantas por pudriciones de raíz con 54.1% y Cabra La Bufa tuvo el menor grado de mortalidad con 20.5%. Resultados similares de rendimiento en ambientes adversos reportó Sánchez *et al.* (2001) para Pinto Saltillo. Rendimientos similares para frijol Tepari fueron reportados por Debouck, (2011); sobre esta especie, también se puede consultar Nabhan y Felger, (1978), Nahban y Teiwes, (1983) y Pratt y Nahban, (1988). Los resultados observados en la disminución de plantas cosechadas en los genotipos de frijol Tepari indican su susceptibilidad a las pudriciones de raíz causadas por patógenos del suelo.

**Peso de 100 semillas.** En 2010 el genotipo de mayor peso de grano fue Morado 420 de frijol común, recolectado en Chihuahua; 27% mayor peso que Pinto Saltillo (Cuadro 1). También mostraron tamaño grande el Blanco de California 27% más que Pinto Saltillo, Amarillo Guachochi con 22%, y Bayo Blanco 21%, los cuales pueden ser utilizados como fuente de peso o tamaño de grano en el mejoramiento; por el contrario, los dos genotipos de frijol Tepari mostraron el menor peso de 100 semillas. El tamaño y aspecto físico del grano (color y forma), conforman un fuerte atractivo visual para los consumidores (Castellanos *et al.*, 1997).

En 2011 el genotipo de mayor tamaño de grano fue el Pinto Saltillo; en éste ciclo con una menor precipitación el Morado 420 presentó 26% menos peso de 100 semillas que Pinto Saltillo. Los genotipos con menor peso fueron los dos Tepari, Café y RS con 12 y 13.2 g por 100 semillas, peso característico de la especie (Idourime y Weber, 1995), peso ligeramente mayor al presentado a 2010; es decir, el tamaño o peso del grano del frijol Tepari es de manera intrínseca de menor tamaño que el de frijol común (Debouck, 1999) y también conservaron su peso en condiciones de extrema sequía.

Al analizar la reducción del peso de 100 semillas en los dos ciclos, se observa que Pinto Saltillo es de los genotipos más estables con tan sólo 0.86 % de reducción de 2010 a 2011. La reducción observada en el peso del grano se debió a la reducción en la duración de la etapa reproductiva por la aceleración de la madurez causada por la sequía ocurrida durante la etapa reproductiva (Figura 1). El genotipo más inestable fue Blanco California con 41% de reducción. Se

54.1% and Goat La Bufa had the lowest mortality rate with 20.5%. Similar results of yield in harsh environments were reported by Sánchez *et al.* (2001) for Pinto Saltillo. Similar yields for Tepary bean were reported by Debouck (2011); on this species, is also available Nabhan and Felger (1978), and Teiwes Nahban (1983), and Pratt and Nahban (1988). The results observed in the reduction of harvested plants in the tepary bean genotypes indicate their susceptibility to root rot caused by soil pathogens.

**100 seed weight.** In 2010 the genotype of higher grain weight was 420 Purple of common bean, collected in Chihuahua; 27% more weight than Pinto Saltillo (Table 1). Also showed bigger size the White California 27% more than Pinto Saltillo, Yellow Guachochi with 22% and 21% White Bayo, which can be used as a source of weight or grain size in breeding; on the contrary, the two tepary bean genotypes showed the lowest weight of 100 seeds. The size and grain appearance (color and shape), form a strong visual appeal for consumers (Castellanos *et al.*, 1997).

In 2011 the genotype of a larger grain size was the Pinto Saltillo; in this cycle with less precipitation the Purple 420 presented 26% less weight of 100 seeds than Pinto Saltillo. Genotypes with less weight were the two brown tepary and RS with 12 and 13.2 g per 100 seed, a characteristic weight of the specie (Idourime and Weber, 1995), presented a slightly higher weight to 2010; ie the size or weight grain from the tepary bean grain is inherently smaller than the common bean (Debouck, 1999) and also kept their weight in extreme drought.

In analyzing the reduction in weight of 100 seeds in the two cycles, is observed that Pinto Saltillo is the most stable genotypes with only 0.86% reduction from 2010 to 2011. The observed reduction in grain weight was due to the reduction in the duration of the reproductive stage for the acceleration of maturity caused by the drought during the reproductive stage (Figure 1). The most unstable genotype was White California with 41% reduction. Genotypes that highlight are Red Cuarentero, brown tepary and tepary RS which showed a slight increase in weight of 100 seeds (Table 1) and that also could be considered as stable for this trait. Similar results for 100 seed weight in Pinto Saltillo were reported by Sanchez *et al.* (2001). An important singularity contrast between tepary beans and common beans is the grain size, which is significantly lower in the tepary bean (Debouck, 1999). Which is peculiar, these

destacan los genotipos Rojo Cuarentero, Tepari Café y Tepari RS que presentaron un ligero incremento del peso de 100 semillas (Cuadro 1) y que también podrían ser considerados como estables para ésta característica. Resultados similares para peso de 100 semillas en Pinto Saltillo fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001). Una singularidad importante contrastante entre el frijol Tepari y el frijol común, es el tamaño del grano, el cual es significativamente menor en el frijol Tepari (Debouck, 1999). Lo cual es peculiar, éstas especies difieren en características morfológicas de las hojas y vainas y componentes del grano (Idouraimé y Weber, 1995).

**Días a floración y madurez.** En 2011 la etapa vegetativa fue más reducida que en 2010, en parte porque la fecha de siembra de 2011 se realizó 12 días después que la de 2010, respuesta normal si se considera que la mayoría de los genotipos criollos de frijol común del Altiplano de México son sensibles al fotoperíodo (White y Laing, 1989) y conforme se retrasa la fecha de siembra, se acorta el día, responden reduciendo su periodo vegetativo, lo cual se considera una característica adaptativa (Acosta-Gallegos y White, 1997). En 2010 y 2011 todos los genotipos estudiados fueron más precoces que Pinto Saltillo para los días a la floración (Cuadro 2), destacando Rosa La Bufa y Morado 420. Similares días a floración fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001) para Pinto Saltillo; así como un número similar de días a floración de los frijoles Tepari fueron reportados por CIAT (1979) y Debouck (2011).

species differ in morphological characteristics of leaves and pods and grain components (Idouraimé and Weber, 1995).

**Days to flowering and maturity.** In 2011 the vegetative stage was lower than in 2010, partly because the planting date of 2011 was held 12 days after that of 2010, normal response if is considered that most of the creoles common bean genotypes of Mexico Highlands are sensitive to photoperiod (White and Laing, 1989) and as delayed planting date, shortening the day, respond by reducing the vegetative period, which is considered an adaptive trait (Acosta-Gallegos and White, 1997). In 2010 and 2011 all genotypes studied were more precocious than Pinto Saltillo for days to flowering (Table 2), highlighting the Rosa La Bufa and Purple 420. Similar days to flowering were reported by Sánchez *et al.* (2001) for Pinto Saltillo, and a similar number of days to flowering of tepary beans were reported by CIAT (1979) and Debouck (2011).

In 2010 there were highly significant differences ( $p < 0.01$ ) for physiological maturity, highlighting the tepary beans that matured 18 d before Pinto Saltillo (Table 1). Red Cuarentero, Rosa Blanco La Bufa and white Bayo that matured 10 days earlier; white California, Pinto 343, Purple 420, Goat's Eye 098, Yellow Guachochi and Cabra La Bufa matured six days before than Pinto Saltillo. The days to physiological maturity are of special importance for both irrigated and rainfed conditions.

**Cuadro 2. Días a floración y madurez de 12 genotipos de frijol común y Tepari producidos bajo temporal en los ciclos primavera- verano 2010 y 2011 en Bachiniva, Chihuahua.**

**Table 2. Days to flowering and maturity of 12 genotypes of common bean and tepary produced under rainfed in spring-summer 2010 and 2011 in Bachiniva, Chihuahua.**

Genotipo	2010		Genotipo	2011	
	Floración	Madurez		Floración	Madurez
Pinto Saltillo	53	90	Pinto Saltillo	42	84
Pinto 343	49	84	Pinto 343	42	82
Amarillo Guachochi	49	84	Amarillo Guachochi	42	78
Blanco de California	48	84	Tepari Café	42	74
Rosa La Bufa	48	80	Rojo Cuarentero	42	77
Morado 420	48	84	Blanco de California	41	77
Rojo Cuarentero	48	80	Tepari RS	41	74
Bayo Blanco	48	80	Ojo de Cabra 098	41	80
Ojo de Cabra 098	48	84	Cabra La Bufa	41	78
Cabra La Bufa	48	83	Bayo Blanco	41	73
Tepari RS	48	72	Rosa La Bufa	41	73
Tepari Café	48	72	Morado 420	41	82
Media	49	81.4	Media	41	78.1
DMS 0.05	2.4	5.4	DMS 0.05	1.6	1.6
CV %	2.0	0.79	CV %	1.6	2.8



En 2010 se observaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) para madurez fisiológica, destacando los de frijol Tepari que maduraron 18 d antes que Pinto Saltillo (Cuadro 1). Rojo Cuarentero, Rosa La Bufa y Bayo Blanco maduraron 10 días antes; Blanco California, Pinto 343, Morado 420, Ojo de Cabra 098, Amarillo Guachochi y Cabra La Bufa maduraron seis días antes que Pinto Saltillo. Los días a madurez fisiológica son de especial importancia para ambas condiciones riego y temporal.

En el caso de riego, los productores necesitan variedades de ciclo corto que maduren en un determinado número de días, para poder realizar siembra y cosecha tempranas para vender el grano al mejor precio. Esas variedades también pueden usarse en temporal en caso de que la temporada de lluvias se retrase; esta característica se considera valiosa en temporal porque a medida que la siembra es más tardía, se incrementa el riesgo de daño por heladas al final del ciclo (Osuna *et al.*, 2011) y permite el escape a la sequía terminal que ocurre al final del ciclo del cultivo.

En 2011, a consecuencia de la baja y errática precipitación, el ciclo del cultivo se aceleró en forma generalizada; es decir, todos los genotipos mostraron un menor número de días a la madurez (Cuadro 2) y también se detectaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ), destacando los genotipos Rosa La Bufa y Bayo Blanco de frijol común, que maduraron 11 días antes que Pinto Saltillo. Tepari RS y Tepari café maduraron 10 días antes. Blanco California y Rojo Cuarentero maduraron siete días antes. Ojo de Cabra 098 y Amarillo Guachochi maduraron cuatro días antes que el testigo Pinto Saltillo. Similares días a madurez fisiológica para Pinto Saltillo fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001). Resultados similares de madurez fisiológica de frijol Tepari fueron reportados por CIAT (1979) y Debouck (2011).

### Contrastes ortogonales

En 2010. El análisis de contrastes ortogonales del rendimiento, mostró diferencias estadísticas significativas entre el frijol Tepari vs frijol común ( $p < 0.01$ ) (Cuadro 3). El rendimiento promedio de los dos Tepari fue de 1 180 kg ha<sup>-1</sup> mientras que el del frijol común (n= 10) de 1 288 kg ha<sup>-1</sup>. El frijol común superó al Tepari, y a pesar de que el rendimiento de ambas especies se considera alto, la demanda por el frijol Tepari es muy baja, concentrada en el noroeste del país y su utilidad sería como una fuente de resistencia a enfermedades (Singh y Muñoz, 1999) y a factores abióticos como son sequía y alta temperatura a los que se consideran resistentes

In the case of irrigation, producers need varieties of short cycle that ripen in a certain number of days in order to make planting and harvest early to sell the grain at the best price. These varieties can also be used on a rainfed basis if the rain season is delayed, this trait is considered valuable in rainfed because as planting is delayed, increases the risk of frost damage at the end of the cycle (Osuna *et al.*, 2011) and allows escaping terminal drought occurring at the end of the crop cycle.

In 2011, due to the low and erratic rainfall, the crop cycle was accelerated in a generalized form; ie, all genotypes showed a lower number of days to maturity (Table 2) and also highly significant differences ( $p < 0.01$ ), highlighting the genotypes Rosa La Bufa and white bayo of common bean, which matured 11 days before Pinto Saltillo. Tepary RS and brown tepary matured 10 days earlier. White California and Red Cuarentero matured seven days earlier. Goat's Eye 098 and Yellow Guachochi matured four days before the Pinto Saltillo control. Similar days to physiological maturity for Pinto Saltillo were reported by Sánchez *et al.* (2001). Similar results of physiological maturity for tepary bean were reported by CIAT (1979) and Debouck (2011).

### Orthogonal contrasts

In 2010, the analysis of orthogonal contrasts of yield showed statistically significant differences between tepary beans vs. common bean ( $p < 0.01$ ) (Table 3). The average yield of the two tepary was 1 180 kg ha<sup>-1</sup> while the common bean (n= 10) of 1 288 kg ha<sup>-1</sup>. Common bean exceeded the tepary, despite that the yield of both species is considered high, the demand for tepary beans is very low, concentrated in the northwest and its usefulness would be as a source of disease resistance (Singh and Muñoz, 1999) and to abiotic factors such as drought and high temperature which are considered resistant (Parsons and Howe, 1984; Debouck, 1999). For direct use of tepary beans, either for direct human consumption or industry, it is necessary improvements of the species *per se*, whose grain size is not attractive to consumers. Its consumption in the northwestern states and southwestern USA is probably due to the ancient tradition of Native groups. As regards to the comparison of tepary with Pinto Saltillo, the latter resulted significantly higher (1599 vs. 1 180 kg ha<sup>-1</sup>); also Pinto Saltillo exceeded the average Creole genotypes of *P. vulgaris* (contrast 3). Due to its traits of drought resistance and grain quality, among its type, Pinto Saltillo has become the dominant variety in the state and national market (Ávila *et al.*, 2003).

(Parsons y Howe, 1984; Debouck, 1999). Para la utilización directa del frijol Tepari, ya sea para el consumo humano directo o para la industria, es necesario el mejoramiento *per se* de la especie, cuyo tamaño de grano no es atractivo para los consumidores(as). Su consumo en los estados del noroeste del país, así como del suroeste de los EE. UU., probablemente se debe a la tradición ancestral de los grupos nativos. En lo que se refiere a la comparación de los Tepari con Pinto Saltillo, éste último resultó significativamente superior (1 599 vs 1 180 kg ha<sup>-1</sup>); asimismo, Pinto Saltillo superó al promedio de los genotipos criollos de *P. vulgaris* (contraste 3). Por sus características de resistencia sequía y calidad de grano, entre las de su tipo, Pinto Saltillo se ha convertido en la variedad dominante en el mercado estatal y nacional (Ávila *et al.*, 2003).

Para 2011. En éste ciclo el contraste entre los Tepari y el frijol común fue similar a 2010, resultando los genotipos criollos de *P. vulgaris* superiores al Tepari, mientras que al comparar los Tepari y criollos de *P. vulgaris* con Pinto Saltillo, estos fueron superiores al testigo. Esto indica que bajo condiciones de sequía extrema, en ambas especies existen genotipos criollos superiores al testigo y podrían ser fuente de resistencia útil contra ese factor abiótico, como ha sido señalado por varios autores (Parsons y Howe, 1984; Debouck, 1999). Debido a los efectos del calentamiento global, el frijol Tepari es objeto de renovado interés porque posee atributos agronómicos interesantes como son tolerancia a sequía, salinidad y alta temperatura (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002; Turen *et al.*, 2005).

En un estudio sobre la expresión diferencial génica en la raíz, se comparó bajo condiciones de sequía a través de microarreglos a *P. acutifolius* con *P. vulgaris* (Micheletto *et al.*, 2007). Los genes de mayor expresión bajo sequía se secuenciaron y su función inferida con base en su similitud con genes anotados en bases de datos. En *P. vulgaris* sólo 65 genes fueron responsivos a sequía en comparación con 488 en *P. acutifolius*. La mayor clase funcional en *P. acutifolius* fueron genes novedosos relacionados con la respuesta a sequía. El determinar la función de esos genes novedosos en la fisiología de las raíces y su resistencia a sequía, sería una contribución valiosa para el mejoramiento *per se* de la especie o para cruza inter específicas.

La importancia de las variedades criollas de ambas especies, *P. vulgaris* y *P. acutifolius*, con su diversidad y características de rusticidad y resistencia asociada no se puede negar. Ésta diversidad se ha desarrollado a través del tiempo en respuesta

### Cuadro 3. Información de contrastes ortogonales de los datos del rendimiento, ciclos de temporal 2010 y 2011 en Bachiniva, Chihuahua.

Table 3. Information of orthogonal contrasts of yield data, under rainfed cycles 2010 and 2011 in Bachiniva, Chihuahua.

Contraste	Cuadrado medio	F calculada
2010		
1 Tepari (n= 2) vs frijol común (n=10)	3820876.5	291.7 **
2 Tepari (n= 2) vs Pinto Saltillo	329667.3	25.1 **
3 Frijol común criollo (n= 9) vs Pinto Saltillo	2090396.3	159.5 **
Error Experimental	13097.9	
2011		
1 Tepari (n= 2) vs frijol común (n=10)	121363.7	150.7 **
2 Tepari (n= 2) vs Pinto Saltillo	14520.2	18.03 **
3 Frijol común criollo (n= 9) vs Pinto Saltillo	711811.1	884.1 **
Error Experimental	805.1	
Valores de F (1, 30): F <0.05= 4.17, F <0.01= 7.56.		

For 2011, in this cycle the contrast between tepary and common beans was similar to 2010, resulting Creole genotypes of *P. vulgaris* superior to tepary, while comparing the tepary and Creoles of *P. vulgaris* with Pinto Saltillo, these were higher than the control. This indicates that under conditions of extreme drought in both species there are creole genotypes superior to the control and could be a useful source of resistance against this abiotic factor, as has been noted by several authors (Parsons and Howe, 1984; Debouck, 1999). Due to the effects of global warming, tepary beans is the subject of renewed interest because it has interesting agronomic traits such as tolerance to drought, salinity and high temperature (Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002; Turen *et al.*, 2005).

In a study on differential gene expression in the root, was compared under drought conditions by microarrays to *P. acutifolius* with *P. vulgaris* (Micheletto *et al.*, 2007). The genes of higher expression under drought were sequenced and its function inferred based on their similarity to genes listed in databases. In *P. vulgaris* only 65 genes were responsive to drought compared with 488 in *P. acutifolius*.

a los factores ambientales que limitan el rendimiento. Por esas características ventajosas los productores de áreas marginales, que no comercializan grandes volúmenes de grano, conservan y utilizan esos genotipos. La evaluación sistemática de esos genotipos permitirá su utilización en el mejoramiento del frijol común en el corto plazo y en el mediano el mejoramiento *per se* del frijol Tepari. Como fue señalado por Singh (2001), el conocimiento, acceso y uso de la diversidad genética disponible en los parientes silvestres y cultivados, son esenciales para ampliar la base genética de los cultivares y lograr el mejoramiento sostenido en el frijol común.

## Conclusiones

Los recursos genéticos disponibles en México de frijol domesticado y silvestre, son abundantes pero hasta la fecha subutilizados, principalmente por falta de caracterización de los mismos. En este estudio los genotipos criollos con mayor rendimiento en 2010 y 2011 fueron Amarillo Guachochi y Rosa La Bufa, respectivamente, ambos de frijol común *P. vulgaris*, los cuales pueden ser utilizados para mejoramiento genético de la especie en cuanto a esta característica. Asimismo, todos los genotipos estudiados fueron más precoces para florear y madurar que Pinto Saltillo destacando Tepari RS y Tepari Café de *P. acutifolius*, Rojo Cuarentero, Rosa La Bufa y Bayo Blanco de *P. vulgaris*.

El genotipo Tepari Café estuvo entre los de mayor rendimiento en 2010, y mostró un potencial de rendimiento similar al testigo; sin embargo, la demanda comercial del grano de frijol Tepari es baja, se localiza en Sonora y Sinaloa y en su mayor parte es para autoconsumo. También hay un consumo limitado en la región del Soconusco, Chiapas. A pesar de lo anterior, y por sus características de resistencia a sequía y a altas temperaturas, aunado a el cambio climático global que en forma acelerada se ha establecido, ésta especie deberá utilizarse en el mejoramiento del frijol común y mejorarse y explotarse *per se* para ambientes extremos.

A través de años, entre los genotipos de frijol común, Pinto Saltillo fue el más estable en peso del grano, en 2011 bajo una severa sequía éste se redujo en menos del 1% en comparación con el de 2010, mientras que el Blanco California se redujo 41%. Los dos genotipos de frijol Tepari, también resultaron estables en esta característica.

The largest functional class in *P. acutifolius* was novel genes related to drought response. Determining the function of these novel genes in the physiology of roots and resistance to drought, it would be a valuable contribution to the improvement of the species *per se* or specific inter cross.

The importance of landraces of species, *P. vulgaris* and *P. acutifolius*, with its diversity and characteristics of rusticity and resistance associated cannot be denied. This diversity has developed over time in response to environmental factors that limit yield. For these advantageous traits producers in marginal areas, that does not sell large volumes of grain, keep and use these genotypes. The systematic evaluation of these genotypes will be used in the common bean improvement in the short and medium term improvement of the tepary bean *per se*. As noted by Singh (2001), knowledge, access and use of genetic diversity available in wild seeds and cultivated, are essential to broaden the genetic base of cultivars and achieve sustained improvement in the common bean.

## Conclusions

The genetic resources available in Mexico of domesticated and wild bean are abundant but so far underused, mainly for lack of characterization. In this study, creoles genotypes with higher yield in 2010 and 2011 were Yellow Guachochi and Rosa La Bufa, respectively, both common bean *P. vulgaris*, which can be used for breeding in regards to this trait. Similarly, all studied genotypes were earlier to flowering and maturity than Pinto Saltillo highlighting tepary RS and brown tepary from *P. acutifolius*, Cuarentero Red, Rosa La Bufa and White bayo from *P. vulgaris*.

The brown tepary genotype was among the top yielders in 2010 and showed a yield potential similar to the control; however the commercial demand of tepary bean grain is low, is located in Sonora and Sinaloa and for the most part is for self-consumption. There is also limited consumption in the region of Soconusco, Chiapas. Despite the above, and its traits of drought resistance and high temperatures, coupled with global climate change at an accelerated rate is established, this species should be used in common bean breeding and improved and exploited *per se* in extreme environments.

Through the years, among common bean genotypes, Pinto Saltillo was the most stable in grain weight, in 2011 under severe drought it dropped less than 1% compared with 2010,

La estabilidad en el tamaño del grano es una característica deseable para la comercialización. La predominancia de genotipos de *P. vulgaris* de ciclo corto entre los materiales evaluados indica la importancia de esta singularidad bajo las condiciones del temporal errático predominante en el área de estudio, particularmente en las localidades donde fueron colectados. Los genotipos sobresalientes en rendimiento, tamaño de grano y precocidad podrían ser utilizadas en el mejoramiento del frijol común para condiciones de temporal.

while California white dropped 41%. The two tepary bean genotypes were also stable in this trait. Stability in the grain size is a desirable trait for marketing. The prevalence of genotypes of *P. vulgaris* of short cycle between the tested materials indicates the importance of this uniqueness under the erratic rainfed conditions prevailing in the study area, particularly in the localities where they were collected. The outstanding genotypes in yield, grain size and earliness could be used in breeding for common bean under rainfed conditions.

*End of the English version*



## Literatura citada

- Acosta-Gallegos, J. A. y White, J. W. 1997. Fenología y rendimiento del frijol de temporal en el Altiplano de México. *Agric. Téc. Méx.* 23:1-10.
- Acosta, G. J. A.; González, R. H.; Torres, E. C. A.; Cuellar, R. I.; Acosta, D. E.; López, S. E.; Pérez, S. R. A.; Ibarra, P. F. J. y Rosales, S. R. 2004. Impacto de la genotecnia en el cultivo de frijol en México. *In: Preciado, O. R. E. y Ríos, S. A. (eds.). Simposium aportaciones de la genotecnia a la agricultura. Soc. Mex. Fitog. A. C., Toluca, Estado de México.* 36-57 pp.
- Ávila, M. M. R.; Fernández, H. P.; Gutiérrez, G. R. y Solano R. V. 2003. Adopción de variedades mejoradas de frijol y su impacto en el estado de Chihuahua. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Folleto Técnico Núm. 15. 30 p.
- Bayuelo-Jiménez, J.; Craig, R. and Lynch, J. P. 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.* 42(5):1584-1594.
- Basra, A. S. 1995. Seed quality, basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press. New York. 389 p.
- Bitocchi, E.; Nanni, L.; Belluci, E.; Rossi, M.; Giardini, A.; Spagnoletti Zeuli, P.; Logozzo, G.; Stougaard, J.; McClean, P.; Attene, G. and Papa, R. 2012. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *PNAS* doi:10.1073/pnas.1108973109.
- Cárdenas-Ramos, F. A. 2000. Investigación agrícola sobre frijol en México durante el periodo 1943 a 1980. *Agric. Téc. Méx.* 26:63-78.
- Castellanos, J. Z.; Guzmán-Maldonado, H.; Jiménez, A.; Mejía, C.; Muñoz-Ramos, J. J.; Acosta-Gallegos, J. A.; Hoyos, G.; López-Salinas, E.; González, D.; Salinas-Pérez, R.; González-Acuña, J.; Muñoz-Villalobos, J. A.; Fernández, P. y Cazares, B. 1997. Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 47:163-168.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1979. *In: potential productivity of field crops under different environments.* 1983. International Rice Research Institute. Los Baños Laguna Philippines. 526 p.
- Debouck, D. G. 1991. Systematics and morphology. *In: van Schoonhoven, A. and Voysest, O. (Eds.). Common beans: research for crop improvement.* C. A. B. Int. Wallingford, UK and CIAT, Cali, Colombia. 55-118 pp.
- Debouck, D. G. 1999. Diversity in *Phaseolus* species in relation to the common bean. *In: Singh, S. P. (Ed.). Common bean improvement in the Twenty-First Century.* Springer. 420 p.
- Debouck, D. G. 2011. Frijoles (*Phaseolus* spp.) *In: la agricultura en mesoamérica.* FAO. 2011. URL: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produccion/contenido/libro09/index.html>.
- Indouraimé, A. and Weber, C. H. 1995. Composition of tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) of Southwestern U.S. and Northwestern Mexico. *Ecol. Food Nut.* 33(3):139-147.
- Muñoz, L. C.; Duque, M. C.; Debouck, D. G. and Blair, M. 2006. Taxonomy of tepary bean and wild relatives as determined by amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers. *Crop Sci.* 46:1744-1754.

- Nabhan, G. P. and Felger, R. S. 1978. Teparies in Southwestern North America. A biogeographical and ethnohistorical study of *Phaseolus acutifolius*. *Econ. Bot.* 32(1):22-19.
- Nabhan, G. P. and Teiwes, H. 1983. Tepary beans, O'odham farmers, and desert fields. *Desert Plants.* 5(1):15-37.
- López, S. J. L.; Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. J. y Lépiz, I. R. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la república mexicana. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3):221-229.
- Pratt, R. C. and Nabhan, G. P. 1988. Evolution and diversity of *Phaseolus acutifolius* genetic resources. In: genetic resources of *Phaseolus* beans. Gepts, P. (Ed.). Dordrecht, Netherlands. Kluwer Academic Publishers. 409-440 pp.
- Osuna, C. E. S.; Acosta, G. J. A.; Reyes, M. L.; Martínez, G. M. A.; Padilla, R. J. S.; Ventura, R. E.; González, G. E.; Cortés, C. A.; Garibaldi, M. F. y Hernández, R. M. 2011. Tecnología para incrementar la producción de frijol de temporal en el Altiplano Semiárido de México. Centro de Investigación Norte Centro. Campo Experimental Pabellón. Folleto para Productores Núm. 44. 32 p.
- Parsond, L. R. and Howe, T. K. 1984. Effect of water stress on the water relations of *Phaseolus vulgaris* and the drought resistant *Phaseolus acutifolius*. *Physiol. Plant.* 60:192-202.
- Sánchez, V. I.; Ibarra, P. F. J.; Rosales, S. R.; Singh, S. P. y Acosta, G. J. A. 2001. Pinto Saltillo: nueva variedad de frijol para el Altiplano de México. *Agric. Téc. Méx.* 27(1):73-75.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2010. Anuarios estadísticos de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. D.F.; URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Singh, S. P. and Muñoz, C. G. 1999. Resistance to common bacterial blight among *Phaseolus* species and common bean improvement. *Crop Sci.* 39:80-89.
- Singh, S. P. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars. *Crop Sci.* 41:1659-1675.
- Steel, R. G. y Torrie, H. D. 1996. Bioestadística: principios y procedimientos. Martínez, B. R. (trad.) 2ª (Ed.). McGraw-Hill/Interamericana de México, S. A. México. 622 p.
- Türkan, I.; Bor, M.; Özdemir, F. and Koca, H. 2005. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. *Plant Sci.* 168:223-231.
- White, J. W. and Laing, D. R. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Field Crops Res.* 22:113-128.