



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Jiménez Galindo, José Cruz; Acosta Gallegos, Jorge Alberto  
Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y Tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo el  
método riego- sequía en Chihuahua  
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 4, núm. 4, mayo-junio, 2013, pp. 557-567  
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263127562006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## **Rendimiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y Tépari (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) bajo el método riego-sequia en Chihuahua\***

### **Evaluation of the yield of common (*Phaseolus vulgaris* L.) and Tepary (*Phaseolus acutifolius* A. Gray) beans with the irrigation-drought method in Chihuahua**

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

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

#### **Resumen**

La sequía es el factor que más limita la producción de frijol de temporal (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. El objetivo del presente trabajo fue identificar frijol común y Tépari más resistentes a la sequía que Pinto Villa y Pinto Saltillo. Los experimentos en 2010 y 2011 se establecieron en la Estación Experimental de INIFAP en Bachiniva, Chihuahua. Se evaluaron siete variedades de frijol de diferente raza, hábito de crecimiento y contrastantes en la respuesta a la sequía. Se utilizó el método riego-sequia con dos riegos de auxilio durante el ciclo más la precipitación en el año (351 mm) y el tratamiento de sequía solo con la precipitación en el año. Se evaluó días a floración, días a madurez fisiológica y el rendimiento de semilla en kg ha<sup>-1</sup>. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición constó de dos surcos de 5 m en 2010 y un surco de 5 m por repetición en 2011. Se utilizó la fórmula de fertilización 30-50-00. En 2010 el genotipo más estable fue Rosa La Bufa con tan sólo 10.5% de incremento del rendimiento en riego con respecto a sequía. En 2011 los genotipos más estables fueron tépari café con 152.5% y Rosa La Bufa con 198.4%.

**Palabras clave:** frijol común, frijol Tépari, resistencia a sequía.

#### **Abstract**

Drought is the main factor limiting the production of rainfed beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mexico. The aim of this study was to identify varieties of common and Tepary beans that are more resistant to drought than the varieties Pinto Villa and Pinto Saltillo. The experiments were established in 2010 and 2011 at the Experimental Station of INIFAP in Bachiniva, Chihuahua. Seven bean varieties were evaluated, all of different race, growth habit and response to drought. We used the irrigation-drought method, with two support irrigations during the cycle plus the precipitation of the year (351 mm) for the irrigation treatment, and only the precipitation of the year for the drought treatment. We evaluated days to flowering, days to physiological maturity and seed yield in kg ha<sup>-1</sup>. The experimental design was a randomized complete block with four replicates. Each replicate comprised of two furrows of 5 m in 2010 and a furrow of 5 m per replicate in 2011. Was used the fertilizer formula 30-50-00. In 2010, the most stable genotype was Rosa La Bufa, with an increase in yield of only 10.5% under irrigation compared to drought. In 2011, the most stable genotypes were brown Tepary with 152.5% and Rosa La Bufa with 198.4%.

**Key words:** Tepary bean, common bean, resistance to drought.

\* Recibido: junio de 2012  
Aceptado: enero de 2013

## Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las leguminosas de grano más importante a nivel mundial, su cultivo está extendido en los cinco continentes y aunque no está considerado dentro de los cuatro cultivos prioritarios, es uno de los alimentos básicos de los pobladores de algunas regiones de África, América Latina y el Caribe Lépiz, (2000). Para México, es un cultivo estratégico, ya que ocupa el segundo lugar en superficie a nivel nacional, con un promedio de 1.688 millones de hectáreas. Su producción es de casi un millón de toneladas con un valor de 6.94 mil millones de pesos SAGARPA, (2009).

En América Latina, se ha estimado que el estrés hídrico reduce el rendimiento del frijol 73% Van Scoonhoven y Voyset, (1989). Durante el periodo de cultivo, el frijol puede ser afectado por múltiples factores adversos que reducen el rendimiento, como la sequía y las enfermedades causadas por patógenos de la raíz y foliares que disminuyen hasta 50% los rendimientos, esto ha obligado a investigadores a desarrollar nuevas estrategias que permitan estabilizar la producción y contribuir a la competitividad del frijol Van Bruggen *et al.*, (1986).

En un programa de mejoramiento genético, el investigador considera genotipos contrastantes respecto al carácter de interés; sin embargo, la segregación de los genes puede reflejarse en la variedad mejorada, ya que no todos los individuos presentan el carácter deseado absoluto. Esto dependerá de la base genética y del nivel de recombinación Staub *et al.* (1996).

El frijol no es reconocido como una especie resistente a la sequía; sin embargo, posee características que confieren escape (precocidad), evasión y tolerancia a la deshidratación pero es necesario identificar y utilizar dichas características en un programa de mejoramiento genético Acosta *et al.* (2004).

La ventaja de utilizar germoplasma exótico de frijol para mejorar la tolerancia de los granos cultivados a estrés ambiental ha sido defendida por varios autores (Pratt, 1983; Thomas and Waines, 1984). Para realizar esto, es necesaria una comprensión de las cualidades que contribuyen a aumento de la tolerancia. Apesar de la capacidad demostrada de frijol tépari para producir altos rendimientos en agricultura de secano, hay escases de información sobre las características que dan lugar a su tolerancia a la sequía.

## Introduction

The bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is one of the most important grain legumes worldwide; it is cultivated in all five continents and, while not considered one of the four priority crops, it is one of the staples of the people in some regions of Africa, Latin America and the Caribbean (Lépiz, 2000). For Mexico, it is a strategic crop, occupying the second place with respect to cultivated surface with an average of 1.688 million hectares. Nearly one million tons are produced each year with a value of 6.94 billion pesos, SAGARPA, (2009).

It has been estimated that in Latin America water stress reduces bean yield by 73% (Van Scoonhoven and Voyset, 1989). During the culture period, the bean can be affected by many factors that reduce its yield, such as drought and diseases caused by root and foliar pathogens which decrease yield by up to 50%; this has forced researchers to develop new strategies for stabilizing the production of beans make it more competitive as a commercial crop (Van Bruggen *et al.*, 1986).

In a breeding program, the researcher considers genotypes that contrast with respect to the character of interest; however, the segregation of genes can be reflected in the improved variety, as not all individuals have the desired character. This depends on the genetic basis and on the recombination level (Staub *et al.*, 1996).

The bean is not recognized as a drought-resistant species; however, it has several characteristics that confer it escape (precocity), avoidance and dehydration tolerance, but it is necessary to identify and use these characteristics in a breeding program (Acosta *et al.*, 2004).

The advantage of using exotic bean germplasm to improve the tolerance of grain crops to environmental stress has been advocated by several authors (Pratt, 1983; Thomas and Waines, 1984). To do this, we need an understanding of the qualities that contribute to an increased tolerance. Despite the demonstrated ability of the Tepary bean to produce high yields under rainfed agriculture, there is a shortage of information on the characteristics that lead to its tolerance to drought.

There are two general ways by which plants cope with a dry environment. The first is tolerance to dehydration, by which the plant keeps growing and performing photosynthesis at low water potentials when there is a lack of water.

Hay dos métodos generales mediante los cuales las plantas hacen frente a un ambiente seco. El primero es la tolerancia a la deshidratación que puede soportar la pérdida de agua y aun así se da el crecimiento de la planta y la fotosíntesis a potenciales hídricos bajos.

El segundo es que no se puede posponer la deshidratación soportando bajos potenciales de agua del tejido pero tiene características que evitan o posponen la pérdida de agua de los tejidos y mantienen altos potenciales de agua en la hoja y la turgencia. La caracterización de los mecanismos por los cuales tépari enfrenta un ambiente seco permitirá mejor a los investigadores planificar los programas de mejoramiento para mover cualidades convenientes en el frijol Markhart (1985).

El déficit de agua sigue siendo uno de los más significativos problemas de los cultivos de importancia agrícola, afectando el crecimiento, el desarrollo, y el rendimiento Verslues *et al.* (2006). Las plantas adaptadas a regiones áridas y semiáridas han desarrollado mecanismos para sobrevivir y tener éxito en estas condiciones adversas Trejo-Calzada and O'Connell (2005). La respuesta de las plantas a este estrés ambiental depende de varios factores, incluyendo la etapa de desarrollo de la planta y la longitud y la severidad y el estrés aplicado Bray (2002); Torres *et al.* (2006).

En los tejidos de las hojas, la percepción de estrés por sequía hace que al cerrar los estomas se reduzca la transpiración y por lo tanto limita la absorción de dióxido de carbono y reduce las tasas de fotosíntesis Turkan *et al.* (2005). Como resultado del déficit hídrico también puede haber mayor crecimiento de raíces Lazcano-Ferrat and Lovatt, (1999). Esto aumenta el volumen del suelo explorado por la planta para tener mayor disponibilidad de agua. Las plantas también sintetizan compuestos que funcionan como osmolitos para mantener el potencial hídrico y otras proteínas que usan para proteger las células de daños O'Connell, (1995); Maggio *et al.* (2006). Todas estas respuestas son controladas por el complejo mecanismos que implican cambios en la expresión génica.

Algunos productos de los genes están directamente involucrados en los mecanismos de protección, tales como las proteínas abundantes de embriogénesis final (LEA), la síntesis de osmolitos y funciones de transporte de iones; otros productos de genes, por ejemplo factores de transcripción o quinasas, que participan en las vías de transducción de señales que median las respuestas celulares a los estímulos externos Torres *et al.* (2006); Rodríguez-Urbe y O'Connell (2006); Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, (2007).

The second involves certain characteristics of the plant tissue that prevent or postpone the loss of water and maintain high water potentials and turgor in the leaves, even when overall dehydration cannot be postponed. The characterization of the mechanisms by which the Tepary bean copes with a dry environment will allow researchers to plan breeding programs to move desirable qualities between beans (Markhart, 1985).

Water deficit remains one of the most significant problems for agriculturally important crops, affecting growth, development, and yield (Verslues *et al.*, 2006). Plants adapted to arid and semi-arid regions have developed mechanisms to survive and succeed in these adverse conditions (Trejo-Calzada and O'Connell, 2005). The response of plants to this environmental stress depends on several factors, including the stage of development of the plant and the duration and severity of the stress (Bray, 2002; Torres *et al.*, 2006).

In leaf tissue, the perception of drought stress causes stomatal closure, which reduces perspiration and thus limits the absorption of carbon dioxide and reduces photosynthesis rates (Turkan *et al.*, 2005). Greater root growth may also occur as a result of water deficit (Lazcano-Ferrat and Lovatt, 1999). This increases the volume of soil explored by the plant and thus water availability. Plants also synthesize compounds that function as osmolytes to maintain the water potential, as well as other proteins used to protect cells from damage (O'Connell, 1995; Maggio *et al.*, 2006). All of these responses are controlled by complex mechanisms involving changes in gene expression.

Certain gene products such as Late Embryogenesis Abundant (LEA) proteins are directly involved with protection mechanisms; others with the synthesis of osmolytes and ion transport functions; and yet other gene products such as transcription factors or kinases participate in signal transduction pathways that mediate cellular responses to external stimuli (Torres *et al.*, 2006; Rodríguez-Urbe and O'Connell, 2006; Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, 2007). The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the most important food legume grown worldwide (Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). A major constraint to bean production is water deficit (Laing *et al.*, 1984)

There is genetic diversity within *P. vulgaris* for resistance to drought, and it is likely that the analysis of its physiological traits will allow to select resistant or tolerant genotypes

Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa alimenticia más importante que se cultiva en todo el mundo Ramírez-Vallejo and Kelly (1998). Una limitación importante para la producción de frijol es el déficit de agua Laing *et al.* (1984).

Existe diversidad genética dentro de *P. vulgaris* para resistencia a la sequía y con algunos análisis de los rasgos fisiológicos es probable seleccionar genotipos resistentes o tolerantes Lizana *et al.* (2006); Muñoz-Perea (2006). Otro miembro del género, *P. acutifolius* (frijol tépari), es nativo del desierto de Sonora en Norteamérica y es notable en el fenotipo la resistencia a la sequía Lazcano-Ferrat and Lovatt (1999) con el uso de marcadores moleculares puede ser posible un mejoramiento acelerado al pasar características de *P. acutifolius* al frijol común Jiménez-Galindo *et al.* (2010). Esta planta también posee un ciclo de producción muy corto y es más tolerante al calor que el frijol común, produce semillas con proteína de alta calidad adecuados para el consumo humano Micheletto, *et al.* (2007).

## Materiales y métodos

### Ubicación y diseño de experimento

Los experimentos se realizaron en la Estación Experimental de INIFAP, en Bachiniva, Chihuahua: 28° 47' 19.32", de latitud norte, 107° 16' 11.64" longitud oeste, a una altitud de 2012 msnm. En un suelo franco arcilloso con 43% de arena, 28.72% de limo y 28.28% de arcilla, libres de sales, altos contenidos de materia orgánica de 2.01%; la pendiente del terreno fluctuó desde 0.16%, hasta 0.64%. Se aplicó la fórmula de fertilización 30-50-00, en ambos niveles de humedad. La precipitación durante el ciclo 2010 el cultivo fue de 351 mm, la siembra se realizó el 4 de julio de 2010 y se aplicaron dos riegos de auxilio, en el tratamiento de riego, de 10 mm cada uno el día 2 de agosto y 11 de septiembre.

La precipitación en 2011 fue de 246 mm, la siembra se realizó el 15 de julio del 2011 y se aplicaron seis riegos de auxilio, en el tratamiento de riego de 10 mm los días 3, 26 y 30 de agosto y 15, 11 y 28 de septiembre. Se evaluó el rendimiento en kg ha<sup>-1</sup>. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada repetición constó de 2 surcos de 5 m de longitud en 2010 y un surco de 5 m de longitud en 2011. El grano fue estandarizado al 11% de humedad para calcular el rendimiento por hectárea.

(Lizana *et al.*, 2006; Muñoz-Perea, 2006). Another member of the genus, *P. acutifolius* (Tepary bean), is native to the Sonoran Desert in North America and its phenotype is remarkable for its resistance to drought (Lazcano-Ferrat and Lovatt, 1999). With the use of molecular markers it may be possible to perform an accelerated improvement by passing characteristics of *P. acutifolius* to the common bean (Jimenez-Galindo *et al.*, 2010). This plant has also a very short production cycle and is more tolerant to heat than the common bean; it produces seeds with high quality protein suitable for human consumption (Micheletto, *et al.*, 2007).

## Materials and methods

### Location and design of experiment

The experiments were conducted at the Experimental Station of INIFAP in Bachiniva, Chihuahua: 28° 47' 19.32" N, 107° 16' 11.64" E, at an altitude of 2012 masl. The terrain has a clay loam soil with 43% sand, 28.72% silt and 28.28% clay, free of salts, high in organic matter content (2.01%); the slope of the plot ranged from 0.16% to 0.64%. The fertilizer formula 30-50-00 was applied in both humidity levels. Rainfall during the 2010 growing cycle was 351 mm; sowing was carried out on July 04, 2010, and two support irrigations, each of 10 mm, were applied under the irrigation treatment on August 02 and September 11.

Rainfall in 2011 was 246 mm; sowing was carried out on July 15, 2011; six irrigations of 10 mm each were applied under the irrigation treatment on August 03, 26 and 30, and September 15, 11 and 28. Yield was evaluated in kg ha<sup>-1</sup>. We used a randomized complete block experimental design with three replicates. Each replicate consisted of 2 furrows of 5 m in length in 2010 and a furrow of 5 m in length in 2011. The grain was standardized to 11% moisture to calculate the yield per hectare.

### Germplasm

We used varieties collected in 2008 in the state of Chihuahua. In this study we used three varieties of Tepary collected in Sonora: Pinto Saltillo (Sánchez *et al.*, 2004) as a control of higher quality and yield; Pinto Villa as a drought resistant control (Acosta-Díaz *et al.*, 2004); the Azufrado Higuera variety (Salinas *et al.*, 1995) from Sinaloa, and Rosa La Bufa, collected in 2009 in La Bufa, Chihuahua (Table 1).



## Germoplasma

Se utilizaron variedades recolectadas en 2008 en el estado de Chihuahua. En esta investigación se utilizaron 3 variedades de tépari recolectadas en Sonora, Pinto Saltillo (Sánchez *et al.*, 2004) como testigo de mayor calidad y producción, Pinto Villa como testigo resistente a sequía (Acosta-Díaz *et al.*, 2004), la variedad Azufrado Higuera (Salinas *et al.*, 1995) de Sinaloa y Rosa La Bufa, recolectado en 2009 en La Bufa, Chihuahua (Cuadro 1).

## Intensity of drought

The drought susceptibility Index (DSI) was calculated for seed yield in two contrasting environments of irrigation and drought.  $DSI = [1 - (Y/Y_p)/1 - (X/X_p)]$ , where  $Y$  is seed yield;  $Y_p$  is seed yield under irrigation;  $X$  is the average seed yield in drought; and  $X_p$  is seed yield under irrigation. The drought intensity index (DII) was calculated too.  $DII = 1 - (XS/XR)$ , where  $XS$  is the average yield under drought conditions and  $XR$  is the average yield under irrigation (Fischer and Maurer, 1978).

### Cuadro 1. Clasificación y características agronómicas de siete variedades de frijol de temporal.

**Table 1. Classification and agronomic characteristics of seven rainfed bean varieties.**

| Variedad         | Habito de crecimiento | Tamaño de la semilla | Nombre científico                    |
|------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Tépari RS        | III                   | Chico                | <i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray |
| Pinto Saltillo   | III                   | Mediano              | <i>Phaseolus vulgaris</i> L.         |
| Rosa La Bufa     | III                   | Mediano              | <i>Phaseolus vulgaris</i> L.         |
| Pinto Villa      | III                   | Mediano              | <i>Phaseolus vulgaris</i> L.         |
| Tépari Café      | III                   | Chico                | <i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray |
| Tépari Pinto     | III                   | Chico                | <i>Phaseolus acutifolius</i> A. Gray |
| Azufrado Higuera | I                     | Grande               | <i>Phaseolus vulgaris</i> L.         |

## Intensidad de la sequía

El índice de susceptibilidad a la sequía (ISS) se calculó para el rendimiento de semilla en los dos ambientes contrastantes de riego y sequía.  $ISS = [1 - (Y/Y_p)/1 - (X/X_p)]$ ; donde,  $Y$  es el rendimiento de semilla;  $Y_p$  es el rendimiento de semilla en riego;  $X$  es el promedio del rendimiento de semilla en sequía; y  $X_p$  es el rendimiento de semilla en riego. El (IIS) índice de intensidad de la sequía  $IIS = 1 - (XS/XR)$  se calculó también,  $XS$  es el rendimiento promedio en condiciones de sequía y  $XR$  es el rendimiento promedio en riego (Fischer y Maurer, 1978).

## Resultados y discusión

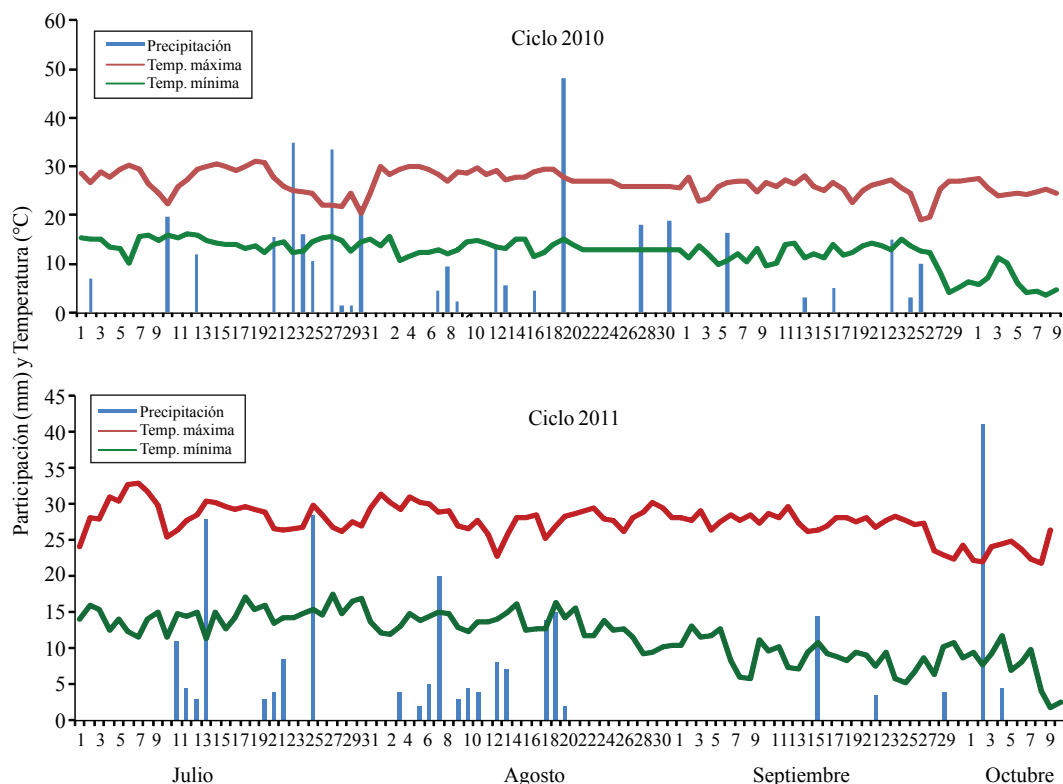
La precipitación durante el ciclo de cultivo 2010 en la Estación Experimental en Bachiniva, Chihuahua, fue de 351 mm como puede observarse en la Figura 1, considerándose como un año bueno, para producir frijol de temporal. En 2011 llovieron tan solo 246 mm con una severa sequía intraestival de 24 días considerándose como un año regular para producir frijol de temporal (Ávila *et al.*, 2009).

## Results and discussion

Rainfall during the growing season of 2010 at the Experimental Station in Bachiniva, Chihuahua, was 351 mm, as shown in Figure 1; this was considered as a good year for the production of rainfed beans. In 2011, rainfall was only 246 mm with a severe intraestival drought of 24 days; this was considered as a regular year for the production of rainfed beans (Ávila *et al.*, 2009).

### Drought intensity

In 2010, the drought treatment showed a reduction in the yield of all genotypes compared to the irrigation treatment; the reduction of drought intensity is represented by the value of  $DII = 0.27$ . This tension is comparable with that of previous experiments with beans under rainfed conditions in the highlands of Mexico ( $DII = 0.49$ , Schneider *et al.*, 1997; 0.48, Rosales-Serna, *et al.*, 2004), but it was lower than the tension reported in Michigan ( $DII = 0.63$ , Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). The Rosa La Bufa variety stood out in 2010 for presenting the lowest DSI value (-0.63), being the most drought-tolerant variety.



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

**Figure 1. Precipitation and maximum and minimum temperature in the Experimental Field Bachiniva, Chihuahua, Mexico. Spring-summer cycles of 2010 and 2011.**

### La intensidad de sequía

En 2010 el tratamiento de la sequía mostró una reducción en el rendimiento de todos los genotipos en comparación con el tratamiento de riego, la reducción de la intensidad de la sequía representada por el valor  $IIS = 0.27$ . Esta tensión es comparable con los experimentos anteriores realizados con frijoles en condiciones de secano en las tierras altas de México ( $IIS = 0.49$ , Schneider *et al.*, 1997;  $0.48$ , Rosales-Serna *et al.*, 2004), pero fue menor a la reportada en Michigan ( $IIS = 0.63$ , Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). De acuerdo al ISS destaca Rosa La Bufa en 2010 presentando el menor valor de  $-0.63$ , siendo el más tolerante a sequía.

Rosa La Bufa presentó el más alto rendimiento promedio y el menor valor de ISS siendo un genotipo sobresaliente para tolerancia a sequía ya que generalmente según Rosales-Serna *et al.* (2000) y López *et al.* (2005) los genotipos con valores bajos de ISS presentan bajos rendimientos pero aun así el ISS es un criterio aceptable para seleccionar genotipos que reduzcan menos su rendimiento en condiciones de estrés hídrico.

Rosa La Bufa presentó el más alto rendimiento promedio y el menor DSI value, being a genotype outstanding for its drought tolerance. Rosales-Serna *et al.* (2000) and López *et al.* (2005) state that genotypes with low DSI values have low yields, but DSI is still an acceptable criterion to select genotypes with a smaller yield decrease under water stress conditions.

In 2011, the drought treatment showed a reduction in the yield of all genotypes compared to the irrigation treatment; the reduction of drought intensity is represented by the DII value of  $0.73$ . This tension is higher, comparable with previous experiments with beans under rainfed conditions in the highlands of Mexico ( $DII = 0.49$ , Schneider *et al.*, 1997;  $0.48$ , Rosales-Serna *et al.*, 2004), but was similar to that reported in Michigan ( $DII = 0.63$ , Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). In 2011, the lowest DSI value was presented by Brown Tepary ( $0.34$ ) and Rosa La Bufa ( $0.40$ ), these varieties being the most tolerant to drought; Markhart (1985) and Micheletto *et al.* (2007) found similar resistance results in *Phaseolus acutifolius*.

En 2011 el tratamiento de la sequía mostró una reducción en el rendimiento de todos los genotipos en comparación con el tratamiento de riego, la reducción de la intensidad de la sequía representada por el valor IIS= 0.73. Esta tensión es mayor comparable con los experimentos anteriores realizados con frijoles en condiciones de secano en las tierras altas de México (IIS= 0.49, Schneider *et al.*, 1997; 0.48, Rosales-Serna *et al.*, 2004), pero fue similar a la reportada en Michigan (IIS= 0.63, Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). En 2011 el menor valor para ISS lo presentaron tépari Café con 0.34 y Rosa La Bufa con 0.40, siendo los más tolerantes a sequía, resultados similares de resistencia en *Phaseolus acutifolius* encontraron Markhart (1985); Micheletto *et al.* (2007).

**Cuadro 2. Índice de intensidad de la sequía e índice de susceptibilidad a la sequía.**

**Table 2. Drought intensity index and drought susceptibility index.**

| Variedad         | 2010 |       | 2011 |      |
|------------------|------|-------|------|------|
|                  | IIS  | ISS   | IIS  | ISS  |
| Tépari RS        | 0.27 | -0.49 | 0.73 | 0.47 |
| Pinto Saltillo   | 0.27 | -0.43 | 0.73 | 0.49 |
| Rosa La Bufa     | 0.27 | -0.63 | 0.73 | 0.40 |
| Pinto Villa      | 0.27 | -0.55 | 0.73 | 0.61 |
| Tépari Café      | 0.27 | -0.21 | 0.73 | 0.34 |
| Azufrado Higuera | 0.27 | -0.47 | 0.73 | 0.47 |
| Tépari Pinto     | 0.27 | -0.55 | 0.73 | 0.48 |

IIS= índice de intensidad de la sequía; ISS= índice de susceptibilidad a la sequía.

## Rendimiento de grano

Los genotipos a prueba respondieron a la sequía en varias formas y el grado de expresión varió entre cultivares. En general, los genotipos mostraron una tendencia a escapar de los efectos de la sequía a través de un desarrollo más rápido en respuesta al estrés. Efectos similares de la sequía sobre la fenología de plantas han sido previamente observadas (Acosta-Gallegos y Kohashi Shibata, 1989; Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). Por lo tanto, la adecuación de la fenología del cultivo a las condiciones ambientales, principalmente de las precipitaciones, ha sido reconocida como un criterio importante para mejorar la adaptación a la sequía en frijol común (Acosta-Gallegos y Adams, 1991; Acosta Gallegos y White, 1995; Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998; Rosales-Serna *et al.*, 2000; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Rosales-Serna *et al.*, 2004).

En 2010 se observaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre genotipos y entre nivel de humedad para el rendimiento; En riego destaca tépari Café con 2 237 kg ha<sup>-1</sup>,

## Grain yield

The tested genotypes responded to drought in various forms, and the degree of expression varied between cultivars. In general, the genotypes showed a tendency to escape the effects of drought through faster development in response to stress. Similar effects of drought on plant phenology have been previously observed (Acosta-Gallegos and Kohashi Shibata, 1989; Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998). Thereby, the adequacy of crop phenology to environmental conditions, particularly rainfall, has been recognized as an important criterion for improving adaptation to drought in common beans (Acosta-Gallegos and Adams, 1991; Acosta-Gallegos and White, 1995; Ramírez-Vallejo and Kelly, 1998; Rosales-Serna *et al.*, 2000; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Rosales-Serna *et al.*, 2004).

In 2010 there were highly significant differences ( $p < 0.01$ ) between genotypes with respect to moisture level for yield; Brown Tepary stood out under irrigation with 2 237 kg ha<sup>-1</sup>; also Pinto Saltillo with 1691 kg ha<sup>-1</sup> and Rosa La Bufa with 1 641 kg ha<sup>-1</sup>. In drought, Rosa La Bufa achieved 1 484 kg ha<sup>-1</sup>, Pinto Villa 1 201 kg ha<sup>-1</sup> and Pinto Saltillo 1 192 kg ha<sup>-1</sup>; Acosta-Díaz *et al.* (2004), Ghassemi and Marfar (2008), Acosta-Díaz *et al.* (2009), Kavar *et al.* (2011) and Fouad *et al.* (2002) found similar results of drought resistance. With respect to average yield under irrigation and drought, Rosa La Bufa stood out with 1 562 kg ha<sup>-1</sup>, a yield 8.3% higher than Pinto Saltillo; Pinto Villa also showed a high yield with 1 328 kg ha<sup>-1</sup>. When the increase percentage of yield under irrigation with respect to drought is analyzed, Rosa La Bufa stands out with 10.5%, also Tepary Pinto with 20.8% and Pinto Villa with 21.06% (Table 3).

Similar yield results for Pinto Saltillo under rainfed conditions were reported by Sánchez *et al.* (2001). Similar yields for Tepary beans have been previously reported by Nahban and Felger (1978); CIAT (1979); Nahban and Teiwes (1983); Pratt and Nahban (1988); Debouck (2011).

When the increase percentage of yield under irrigation with respect to drought is analyzed, Brown Tepary stands out with 152.5% and Rosa La Bufa with 198.4% (Table 4); similar drought resistance results for Tepary and common bean have been found by Lopez *et al.* (2005), Rodríguez and O'Connell (2006), Ghassemi and Marfar (2008), Acosta-Díaz *et al.* (2004), Acosta-Díaz *et al.* (2009), Kavar *et al.* (2011), and Fouad *et al.* (2002). Similar yield results under rainfed conditions were reported for Pinto Saltillo by Sánchez *et al.* (2001).



Pinto Saltillo con 1 691 kg ha<sup>-1</sup> y Rosa La Bufa con 1 641 kg ha<sup>-1</sup>. En sequía destaca Rosa La Bufa con 1 484 kg ha<sup>-1</sup>, Pinto Villa con 1 201 kg ha<sup>-1</sup> y Pinto Saltillo con 1 192 kg ha<sup>-1</sup>, resultados similares de resistencia a sequía encontraron Acosta-Díaz *et al.* (2004); Ghassemi and Marfar (2008); Acosta-Díaz *et al.* (2009); Kavar *et al.* (2011) y Fouad *et al.* (2002). En promedio de rendimiento de riego y sequía destaca Rosa La Bufa con 1 562 kg ha<sup>-1</sup>, 8.3 % más rendimiento que Pinto Saltillo; también fue de alto rendimiento Pinto Villa con 1 328 kg ha<sup>-1</sup>. Al analizar el porcentaje de incremento del rendimiento en riego con respecto a sequía se destaca Rosa La Bufa con 10.5%, tépari Pinto con 20.8% y Pinto Villa con 21.06% (Cuadro 3).

Similar yield results for Tepary bean have been previously reported by CIAT (1979), Nahban and Felger (1978), Nahban and Teiwes (1983), Pratt and Nahban (1988), and Debouck (2011). Azufrado Higuera presented high mortality of plants and therefore very low yields of only 144 and 195 kg ha<sup>-1</sup> under drought and irrigation respectively.

### Days to flowering

In 2010 and 2011, all genotypes studied were more precocious than Pinto Saltillo with respect to days to flowering, especially Rosa La Bufa and Brown Tepary. Similar

**Cuadro 3. Rendimiento de genotipos con el método riego sequía ciclo P-V 2010. Duncan= 0.05.**

**Table 3. Estimation of the yield of bean genotypes with the irrigation-drought method, cycle Spring-summer, 2010. Duncan=0.05.**

| Variedad         | Semillas sembradas promedio (pl m <sup>-1</sup> ) | Plantas cosechadas promedio (pl m <sup>-1</sup> ) R <sup>2</sup> =0.93 | Rendimiento sequía (kg ha <sup>-1</sup> ) | Rendimiento riego (kg ha <sup>-1</sup> ) | Por ciento de incremento respecto a sequía | Rendimiento promedio (kg ha <sup>-1</sup> ) R <sup>2</sup> = 0.88 |
|------------------|---|--|---|--|--|---|
| Tépari RS        | 12  | 7.73 a   | 701                                       | 913                                      | 30.2                                       | 807 c   |
| Pinto Saltillo   | 12  | 8.41 a   | 1192                                      | 1691                                     | 41.8                                       | 1442 a  |
| Rosa La Bufa     | 12  | 8.63 a   | 1484                                      | 1641                                     | 10.5                                       | 1562 a  |
| Pinto Villa      | 12  | 8.00 a   | 1201                                      | 1454                                     | 21.06                                      | 1328 ab   |
| Tépari Café      | 12  | 7.60 a   | 1070                                      | 2237                                     | 109.06                                     | 1154 b  |
| Azufrado Higuera | 12  | 1.30 b   | 144                                       | 195                                      | 35.4                                       | 170 d   |
| Tépari Pinto     | 12  | 7.68 a   | 963                                       | 1164                                     | 20.8                                       | 1063 bc   |
| Media            | -   | 7.05   | -   | -  | -  | 1075.4  |
| DMS              | -   | 7.1  | -   | -  | -  | 264.6   |
| CV (%)           | -   | 11.5   | -   | -  | -  | 21.1  |

Resultados similares de rendimiento para Pinto Saltillo bajo condiciones de temporal fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001). Rendimientos similares para frijol tépari han sido previamente reportados Nahban y Felger (1978); CIAT (1979); Nahban y Teiwes (1983); Pratty Nahban (1988); Debouck (2011).

Al analizar el porcentaje de incremento del rendimiento en riego con respecto a sequía se destaca tépari Café con 152.5% y Rosa La Bufa con 198.4% (Cuadro 4) opiniones similares de la característica de resistencia a sequía de tépari y frijol común han encontrado López *et al.* (2005); Rodríguez and O'Connell (2006); Ghassemi and Marfar (2008); Acosta-Díaz *et al.* (2004); Acosta-Díaz *et al.* (2009); Kavar *et al.* (2011) y Fouad *et al.* (2002). Resultados similares de rendimiento para Pinto Saltillo bajo condiciones de temporal fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001).

days to flowering were reported by Sánchez *et al.* (2001) for Pinto Saltillo. A similar number of days to flowering was reported by CIAT (1979) and Debouck (2011) for Tepary beans.

### Days to physiological maturity

In general, in 2010 and 2011 all the genotypes studied were more precocious than Pinto Saltillo with respect to days to maturity except Azufrado Higuera and Pinto Villa. Tepary and Rosa La Bufa beans stood out for their precociousness. Similar days to maturing were reported by Sánchez *et al.* (2001) for Pinto Saltillo. A similar number of days to flowering was reported by CIAT (1979) and Debouck (2011) for Tepary beans.

**Cuadro 4. Rendimiento de genotipos con el método riego sequía ciclo primavera- verano, 2011. Duncan= 0.05.****Table 4. Estimation of the yield of bean genotypes with the irrigation-drought method, spring-summer cycle 2011. Duncan=0.05.**

| Variedad         | Semillas sembradas promedio (pl m <sup>-1</sup> ) | Plantas cosechadas promedio (pl 5 m <sup>-1</sup> ). R <sup>2</sup> =0.80 | Rendimiento sequia (kg ha <sup>-1</sup> ) | Rendimiento riego (kg ha <sup>-1</sup> ) | Porcentaje de incremento respecto a sequía | Rendimiento promedio (kg ha <sup>-1</sup> ). R <sup>2</sup> = 0.90 |
|------------------|---|---|---|--|--|--|
| Tépari RS        | 12  | 7.36 b  | 134                                       | 499                                      | 272.3                                      | 317.10 a   |
| Pinto Saltillo   | 12  | 8.86 a  | 145                                       | 585                                      | 303.4                                      | 365.32 a   |
| Rosa La Bufa     | 12  | 8.86 a  | 199                                       | 594                                      | 198.4                                      | 397.02 a   |
| Pinto Villa      | 12  | 8.66 a  | 72  | 596                                      | 727.7                                      | 334.65 a   |
| Tépari Café      | 12  | 7.40 b  | 156                                       | 394                                      | 152.5                                      | 275.40 a   |
| Azufrado Higuera | 12  | 4.80 c  | 129                                       | 487                                      | 277.5                                      | 127.27 b   |
| Tépari Pinto     | 12  | 6.90 b  | 52  | 201                                      | 286.5                                      | 308.08 a   |
| Media            | -   | 7.54  | -   | -  | -  | 303.5  |
| DMS              | -   | 11.3  | -   | -  | -  | 170.6  |
| CV (%)           | -   | 13.1  | -   | -  | -  | 30.3   |

Rendimientos similares para frijol tépari han sido previamente reportados CIAT (1979); Nahban y Felger (1978); Nahban y Teiwes (1983); Pratt y Nahban (1988); Debouck (2011). Azufrado Higuera presentó muy alta mortalidad de plantas y por lo tanto muy bajos rendimientos de apenas 144 y 195 kg ha<sup>-1</sup> en sequía y riego respectivamente.

#### Días a floración

En 2010 y 2011 todos los genotipos estudiados fueron más precoces que Pinto Saltillo para días a floración, destacando Rosa La Bufa y Tépari Café. Similares días a floración fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001) para Pinto Saltillo. Similar número de días a floración de los frijoles tépari es fueron reportados por CIAT (1979) y Debouck (2011).

#### Días a madurez fisiológica

En general en 2010 y 2011 todos los genotipos estudiados fueron más precoces que Pinto Saltillo para días a madurez excepto Azufrado Higuera y Pinto Villa. Destacan por su precocidad los frijoles téparis y Rosa La Bufa. Similares días a madurez fueron reportados por Sánchez *et al.* (2001) para Pinto Saltillo. Similar número de días a floración de los frijoles téparis fueron reportados por CIAT (1979) y Debouck (2011).

**Cuadro 5. Días a floración de siete variedades de frijol bajo dos niveles de humedad durante el periodo reproductivo, Bachiniva, Chihuahua, México. 2010 y 2011. Duncan= 0.05.****Table 5. Days to flowering of seven bean varieties under two moisture levels during the reproductive period, Bachiniva, Chihuahua, Mexico. 2010 and 2011. Duncan= 0.05.**

| Variedad         | Ciclo P-V 2010<br>R <sup>2</sup> = 0.87 |       |        | Ciclo P-V 2011<br>R <sup>2</sup> = 0.86 |       |         |
|------------------|---|-------|--------|---|-------|---------|
|                  | Floración (días)                        |       |        | Floración (días)                        |       |         |
|                  | Sequía                                  | Riego | Media  | Sequía                                  | Riego | Media   |
| Tépari RS        | 51.6                                    | 51.3  | 51.5 c | 42.0                                    | 42.0  | 42.0 b  |
| Pinto Saltillo   | 52.6                                    | 54.0  | 53.3 a | 43.3                                    | 43.3  | 43.3 a  |
| Rosa La Bufa     | 51.0                                    | 51.0  | 51.0 c | 40.0                                    | 40.0  | 40.0 c  |
| Pinto Villa      | 52.0                                    | 52.3  | 52.1 b | 42.0                                    | 42.0  | 42.0 b  |
| Tépari Café      | 51.0                                    | 51.6  | 51.3 c | 40.0                                    | 40.0  | 40.0 c  |
| Azufrado Higuera | 52.0                                    | 52.0  | 52.0 b | 42.6                                    | 42.6  | 42.6 ab |
| Tépari Pinto     | 51.3                                    | 51.3  | 51.3 c | 42.0                                    | 42.0  | 42.0 b  |
| Media            | -                                       | -     | 51.8   | -                                       | -     | 41.7    |
| DMS              | -                                       | -     | 1.4    | -                                       | -     | 0.7     |
| CV (%)           | -                                       | -     | 0.8    | -                                       | -     | 1.5     |

## Conclusiones

Las variedades estudiadas mostraron una tendencia a escapar de los efectos de la sequía a través de un desarrollo más rápido, sobre todo, reducir el número de días madurez.

En ambos ciclos de producción se destaca Rosa La Bufa con valores menores de ISS y los mayores rendimientos promedio de rendimiento de grano por hectárea.

Tépari Café resultó contrastante en cuanto a estabilidad del rendimiento siendo mucho más estable en un ciclo con mayor sequía como lo fue 2011.

## Literatura citada

- Ávila, M. M. R.; González, R. H.; Rosales, S. R.; Zandate, H. R.; Pajarito, R. A. y Espinoza, A. J. 2009. Diagnóstico y adopción de la variedad de frijol Pinto Saltillo en la Región temporalera del norte de México. Campo Experimental Sierra de Chihuahua. Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua, México. Folleto científico Núm. 12. 23 p.
- Acosta-Díaz, E.; Trejo-López, C.; Ruiz-Posadas, L. M.; Padilla-Ramírez, J. S. y Acosta-Gallegos, J. A. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. Terra Latinoamericana 22(1):49-58.
- Acosta-Díaz, E.; Acosta-Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Padilla-Ramírez, J. S. and Amador-Ramírez, M. D. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. Agric. Téc. Méx. 35 (4):416-425.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Kohashi-Shibata, J. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. Field Crop Res. 20:81-93.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Adams, M. W. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. J. Agric. Sci. 117:213-219.
- Acosta-Gallegos, J. A. and White, J. W. 1995. Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. Crop Sci. 35:199-204.
- 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. de Fitogenética, Toluca, Estado de México. 36-57 pp.
- Bray, E. A. 2002. Classification of genes differentially expressed during water deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. Ann. Bot. 89:803-811.
- 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. 2011. Frijoles (*Phaseolus* spp.) In: la agricultura en Mesoamerica. FAO. 2011. URL: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro09/index.html>.

**Cuadro 6. Madurez fisiológica de siete variedades de frijol bajo dos niveles de humedad durante el periodo reproductivo, Bachiniva, Chihuahua, México. 2010 y 2011. Duncan= 0.05.**

**Table 6. Physiological maturity of seven bean varieties under two moisture levels during the reproductive period, Bachiniva, Chihuahua, Mexico. 2010 and 2011. Duncan= 0.05.**

| Variedad       | Ciclo P-V 2010<br>R <sup>2</sup> = 0.98 |       |       | Ciclo P-V 2011<br>R <sup>2</sup> = 0.99 |       |        |
|----------------|---|-------|-------|---|-------|--------|
|                | Madurez fisiológica<br>(días)           |       |       | Madurez fisiológica<br>(días)           |       |        |
|                | Sequía                                  | Riego | Media | Sequía                                  | Riego | Media  |
| Tépari RS      | 73                                      | 73    | 73 d  | 73.0                                    | 74.6  | 73.8 e |
| Pinto Saltillo | 90                                      | 90    | 90 a  | 84.6                                    | 83.6  | 84.1 b |
| Rosa La Bufa   | 80                                      | 80    | 80 c  | 73.0                                    | 73.0  | 73.0 f |
| Pinto Villa    | 84                                      | 84    | 84 b  | 83.0                                    | 83.0  | 83.0 c |
| Tépari Café    | 73                                      | 73    | 73 d  | 73.0                                    | 73.0  | 73.0 f |
| Azufrado       | 90                                      | 90    | 90 a  | 87.0                                    | 87.0  | 87.0 a |
| Higuera        |   |       |       |   |       |        |
| Tépari Pinto   | 75                                      | 73    | 74 d  | 73.0                                    | 76.6  | 74.8 d |
| Media          | -                                       | -     | 80.5  | -                                       | -     | 78.4   |
| DMS            | -                                       | -     | 1.4   | -                                       | -     | 0.73   |
| CV (%)         | -                                       | -     | 1.3   | -                                       | -     | 0.70   |

## Conclusions

The varieties studied showed a tendency to escape the effects of drought through faster development, in particular by reducing the number of days to maturity.

In both production cycles, Rosa La Bufa stood out with lower DSI values and the highest average grain yields per hectare.

Brown Tepary showed contrasting results with respect to yield stability, being much more stable performance in a cycle with a more severe drought as was the case in 2011.

*End of the English version*



- Fischer, R. A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Aust. J. Agric. Res. 29:807-912.
- Fouad, M. M.; Keutgen, N.; Tawfika, A. A. and Noga, G. 2002. Dehydration-avoidance responses of tepary bean lines differing in drought resistance J. Plant Physiol. 159: 31-38.

- Ghassemi-Golezani, K. and Mardfer, R. A. 2008. Effects of limited irrigation on growth and grain yield of common bean. *J. Plant Sci.* 3(3):230-235.
- Jiménez-Galindo, J. C.; Valadéz-Moctezuma, E. y Marbán-Mendoza, N. 2010. Evaluación y caracterización de *Phaseolus* spp. como fuente de resistencia a *Fusarium oxysporum* f sp. *phaseoli* (Fop). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(2):99-105.
- Kavar, T.; Maras, M.; KIDRIČ, M.; Sustar-Vozlic, J. and Meglic, V. 2011. The expression profiles of selected genes in different bean species (*Phaseolus* spp.) as response to water deficit. *J. Central European Agric.* 12(4):557-576.
- Laing, D. R.; Jones, P. G. and Davis, H. C. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris*), In: Goldsworthy, P. and Fisher, R. M. (Eds.). *The physiology of tropical field crops*. John Wiley and Sons, NY. 305-35 pp.
- Lazcano-Ferrat, I. and Lovatt, C. J. 1999. Relationship between relative water content, nitrogen pools, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. acutifolius* A. Gray during water deficit. *Crop Sci.* 39:467-475.
- Lépiz I. R. 2000. Simposio: contribución de la fitopatología al mejoramiento de los cultivos agrícolas. El caso del frijol. *Rev. Mex. Fitopatol.* 17:54-72.
- Lizana, C.; Wentworth, M.; Martínez, J. P.; Villegas, D.; Meneses, R.; Murchie, E. H.; Pastenes, C.; Lerzri, B.; Vernieri, P. and Horton, P. M. 2006. Pinto, differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress. I. Effects of drought on yield and photosynthesis. *J. Exp. Bot.* 57:685-697.
- López, S. J. L.; Ruiz, C. J. A.; Sánchez, G. J. A. y Lépiz I. R. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(3):221-230.
- Maggio, A.; Zhu, J.-K.; Hasegawa, P. M. and Bressan, R. A. 2006. Osmogenetics: aristotle to arabidopsis. *Plant Cell* 18:1542-1557.
- Markhart, A. H. 1985. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiol.* 77:113-117.
- Micheletto, S.; Rodríguez-Urbe, R.; Hernández, R.; Richard, D.; Richins, P.; Curry, J. and O'Connell, P. 2007. Comparative transcript profiling in roots of *Phaseolus acutifolius* and *P. vulgaris* under water deficit stress. *Plant Sci.* 173:510-520.
- Muñoz-Perea, C. G.; Terán, H.; Allen, R. G.; Wright, J. L.; Westermann, D. T. and Singh, S. P. 2006. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. *Crop Sci.* 46:2111-2120.
- Nabhan, G. P. and Felger, R. S. 1978. Terapias 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.
- O'Connell, M. A. 1995. The role of drought-responsive genes in drought resistance, *Ag. Biotechnol. News Inform.* 7:143N-147N.
- Pratt, R. C. 1983. Gene transfer between tepary and common beans. *Desert Plants* 5:57-63.
- Pratt, R. C. and Nabhan, G. P. 1988. Evolution and diversity of *Phaseolus acutifolius* genetic re-sources. In: *Genetic resources of Phaseolus beans*. Gepts, P., Ed. Dordrecht. Países Bajos. Kluwer Academic Publishers. 409-440 pp.
- Ramírez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99:127-136.
- Rodríguez-Urbe, L. and O'Connell, M. A. 2006. A root-specific bZIP transcription factor is responsive to water deficit stress in tépari bean (*Phaseolus acutifolius*) and common bean (*P. vulgaris*), *J. Exp. Bot.* 57(6): 1391-1398.
- Rosales-Serna, R.; Kohashi-Shibata, J.; Acosta-Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Ortiz-Cereceres, J.; Castillo, G. F. y Kelly, J. D. 2000. Rendimiento de grano y tolerancia a la sequía del frijol común en condiciones de campo. *Agrociencia*. 34:153-165.
- Rosales-Serna, R.; Kohashi-Shibata, J.; Acosta-Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Ortiz-Cereceres, J. and Kelly, J. D. 2004. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Res.* 85:203-211.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). D. F., México. URL: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Salinas, P. R. A.; Navarro, S. F. J. y Rodríguez, C. F. G. 1995. Azufrado Noroeste y Azufrado Higuera Nuevas variedades de frijol para Sinaloa. INIFAP CIRNO-CEVAF. Folleto técnico Núm. 11. Noviembre de 1995.
- 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. *Rev. Mex. Cien. Agríc.* 27(1):73-75.
- Sánchez, V. I.; Acosta, G. J. A.; Ibarra, F. J.; Rosales, S. R. and S. P. Singh. 2004. Registration of 'Pinto Saltillo' common bean. *Crop Sci.* 44:1865-1866.
- Schneider, K. A.; Rosales-Serna, R.; Ibarra-Pérez, F.; Cazares-Enríquez, B.; Acosta-Gallegos, J. A.; Ramírez-Vallejo, P.; Wassimi, N. and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci.* 37:43-50.
- Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K. 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance, *J. Exp. Bot.* 58 (2):221-227.
- Staub, J. E.; Serquen, F. C.; Gupta, M. 1996. Genetic markers, map construction, and their application in plant breeding. *HortScience* 31(5):729-741.
- Thomas, C. V. and Waines, J. 1984. Fertile backcross and allotetraploid plants from crosses between tépari beans and common beans. *J. Hered* 75:93-98.
- Trejo-Calzada, R. and O'Connell, M. A. 2005. Genetic diversity of drought-responsive genes in populations of the desert forage *Dactylis glomerata*, *Plant Sci.* 168:1327-1335.
- Torres, G. A. M.; Pflieger, S.; Corre-Menguy, F.; Mazubert, C.; Hartmann, C.; and Lelandis-Brière, C. 2006. Identification of novel drought-related mRNAs in common bean roots by differential display RT-PCR, *Plant Sci.* 171:300-307.
- Turkan, I.; Bor, M.; Zdemir, F. O. 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.
- Van Bruggen, A. H. C.; Whalen, C. H. and Arneson, P. A. 1986. Emergence, growth, and development of dry bean seedlings in response to temperature, soil moisture, and *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology* 76:568-572.
- Van Schoonhoven, A. y Voyset, O. 1989. Common bean in Latin America and their constraints. In: Schwartz, H. F. y Pastor-Corrales, M. A. (eds.). *Bean Production problems in tropics*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 33-57 pp.
- Verslues, P. E.; Katiyar-Agarwal, S.; Zhu, J.; and Zhu, J.-K. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant J.* 45:523-539.