

## COMUNICACIÓN CORTA

# EVALUACIÓN DE TRES VARIEDADES DE FRIJOL PINTO BAJO RIEGO Y SEQUÍA EN DURANGO, MÉXICO<sup>1</sup>

Aurelio Pedroza-Sandoval<sup>2</sup>, Ricardo Trejo-Calzada<sup>2</sup>, Ignacio Sánchez-Cohen<sup>3</sup>,  
José Alfredo Samaniego-Gaxiola<sup>4</sup>, Luis Gerardo Yáñez-Chávez<sup>2</sup>

## RESUMEN

**Evaluación de tres variedades de frijol pinto bajo riego y sequía en Durango, México.** El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y fisiología de tres variedades de frijol en condiciones de riego y sequía. El estudio se llevó a cabo durante el 2014 en el campo experimental de la Universidad Autónoma de Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Durango, México. Se usó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas. Estas parcelas fueron los contenidos de humedad en el suelo: favorable, próximo a capacidad de campo (CC: 22-26%) y desfavorable, próximo al punto de marchitez permanente (PMP: 16-20%); las subparcelas fueron las variedades de frijol: Pinto Centauro, Pinto Americano y Pinto Saltillo. La variedad Pinto Centauro fue la de mayor altura de planta (10,2 cm), cobertura vegetal (155,1 cm<sup>2</sup>) y producción de materia seca por planta (5,2 g) y fisiológicamente sobresalió en su eficiencia en el uso de agua (15,8 μmol de CO<sub>2</sub>: μmol de H<sub>2</sub>O). La variedad Pinto Americano fue la de mayor estabilidad en crecimiento y desarrollo al pasar de la condición de humedad favorable (CC) a la desfavorable (PMP), lo cual la hace más viable ante condiciones restrictivas de disponibilidad hídrica; pero alta susceptibilidad a la pudrición de raíz asociada a patógenos del suelo.

**Palabras clave:** características agronómicas, *Phaseolus vulgaris*, estrés hídrico.

## ABSTRACT

**Evaluation of three pinto bean varieties under drought and irrigation in Durango, Mexico.** The aim of this study was to identify the behavioral response in growth and physiology on three bean varieties under irrigation and drought. The study was conducted in 2014 at the experimental campus from the Autonomous University of Chapingo, Regional University Unit of the Arid Zones, Durango, Mexico. A randomized block design with three replications in a split plot arrangement was used. The plots were the soil moisture contents: favorable, near to Field Capacity (FC: 22-26%) and unfavorable, near to Permanent Wilting Point (PWP: 16-20%); subplots were varieties of beans: Pinto Centauro, Pinto Americano, and Pinto Saltillo. The variety Pinto Centauro had the greatest plant height (10.2 cm), vegetation cover (155.1 cm<sup>2</sup>), and dry matter production per plant (5.2 g) and, physiologically, it showed an outstanding water use efficiency (15.8 μmol CO<sub>2</sub>: μmol H<sub>2</sub>O). The variety Pinto Americano was the most stable in growth and development when changing from the favorable moisture condition (CC) to the hydric stress condition (PWP), which makes it more viable under restrictive water availability conditions, but also more susceptible to root rot, associated to soil pathogens.

**Keywords:** agronomic characters, *Phaseolus vulgaris*, hydric stress.

<sup>1</sup> Recibido: 16 de marzo, 2015. Aceptado: 6 de junio, 2015. Los resultados de este estudio son producto del proyecto de investigación interdisciplinario de Manejo Integrado del Frijol. Universidad Autónoma de Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, México.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Cd. Juárez, Chihuahua, km 38.5, C. P. 35230 Tel: 872 7760190. Fax. 872 77 60043. Bermejillo, Durango. apedroza@chapingo.uruza.edu.mx (autor para correspondencia), rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx, yachgl@chapingo.uruza.edu.mx

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro Nacional de Investigaciones Interdisciplinarias en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. km 6.5 CP. 35150, Gómez Palacio, Durango. Tel: 871 1590104. sanchez.ignacio@inifap.gob.mx

<sup>4</sup> INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte Centro, km 17 carretera Torreón-Matamoros, Coahuila, México. C. P. 27440 Tel: 871 762-49-77. jasn58@gmail.com



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el planeta presenta un elevado impacto ambiental, en gran medida producido por el efecto del cambio climático, mediante la influencia de eventos climáticos extremos. Los impactos directos del cambio climático en los sistemas naturales, económicos y sociales, por altas temperaturas y cambios en los patrones de lluvia, son cada vez más evidentes, siendo el sector de la producción primaria uno de los más afectados negativamente (Al-Kaisi et al., 2012; Lal et al., 2012).

En México, el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa el segundo lugar en superficie cultivada y el sexto en valor de la producción, y es base de la alimentación y fuente nutricional de la población mexicana (Celis et al., 2010). La producción de este cultivo se ve afectada por la sequía, la cual va en incremento en intensidad y frecuencia (Acosta et al., 2004). Aproximadamente el 85% de la superficie sembrada se cultiva en condiciones de temporal, la cual está sujeta a periodos frecuentes de sequía. Durante el 2011, la producción de frijol se redujo en 58,9% en Zacatecas, 72,3% en Chihuahua y 81,9% en Durango, debido al impacto de la intensa sequía (Treviño y Rosas, 2013). Por otro lado, el 40,2% del área sembrada fue prácticamente siniestrada, ya que los rendimientos medios disminuyeron a 10,7% y la producción disminuyó 50,9% con relación a 2010 (SAGARPA, 2011). Debido a ello, se importaron 135 900 toneladas de frijol de Estados Unidos, 15,8% más que en el año anterior. Esto indica la influencia negativa que en algunos años produjo el clima, en particular la errática y disminuida precipitación, adicional a la influencia de las temperaturas extremas que suele ocurrir en las zonas áridas, donde se ubica la mayor superficie de temporal en el país.

El frijol es un cultivo nativo de México, con alto grado de diversidad genética y tolerancia a diferentes factores adversos del medio; sin embargo, en las variedades mejoradas es común la susceptibilidad a factores adversos tanto de tipo biótico como abiótico, principalmente en la época de floración y formación de vaina (Acosta y Kohashi, 1989; Nielsen y Nelson, 1998). Lo anterior, debido a que en este período ocurre la máxima demanda de foto-asimilados, provocando una disminución de entre 50-70% en el número de vainas y el rendimiento (Laing et al., 1984).

La evaluación de materiales genéticos, en su capacidad de adaptación en diferentes etapas

fenológicas, es una opción viable que permite identificar los materiales de mejor respuesta a factores adversos con base en características anatómicas o fisiológicas, tales como la plasticidad de desarrollo (Acosta et al., 1996; Acosta et al., 2011), plasticidad morfológica (Acosta et al., 2011), alta acumulación de biomasa (Rosales et al., 2004; Padilla et al., 2005), y el ajuste estomático (Rosales et al., 2001; Acosta et al., 2011). Lo anterior es posible de identificar mediante evaluación de materiales genéticos con la metodología riego-sequía (Muñoz, 1978; Rosales et al., 2001).

La evaluación de materiales se sustenta en la diversidad genética presente en el cultivo y la necesidad de disponer de variedades más y mejor adaptadas a las condiciones de deficiencia hídrica. Sin embargo, la complejidad de las respuestas fenotípicas y fisiológicas al déficit de humedad edáfica en el suelo, dificulta el mejoramiento para la tolerancia a sequía. No obstante, la evaluación de cultivares con origen genético común y respuesta al estrés por sequía, ha permitido identificar cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos propios de la especie y contrastantes entre variedades (Peña et al., 2005).

La Comarca Lagunera es un área de riego, cada vez con mayores problemas de agua por la baja captación del recurso hídrico en las presas almacenadoras y por la baja recarga del acuífero (CONAGUA, 2010); ambos procesos deficitarios por la baja precipitación pluvial registrada en las últimas décadas. Por ser un área históricamente de riego, actualmente no se dispone de material genético de frijol que esté identificado por su nivel de tolerancia al estrés hídrico. Se dispone de variedades como los pintos (Pinto Americano, Pinto Laguna, Pinto San Luis, Pinto Saltillo y Pinto Villa) que son de ciclo corto o también llamados precoces (de 80 a 100 días), pero diseñados para condiciones de riego (Martínez et al., 2004; Pedroza et al., 2013).

El objetivo de este estudio fue evaluar el crecimiento y fisiología de tres variedades de frijol en condiciones de riego y sequía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación geográfica

El estudio se llevó a cabo durante el año del 2014, en el campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, en la Unidad Regional Universitaria de

Zonas Áridas, localizada en Bermejillo del Estado de Durango, México. La región se encuentra ubicada entre las coordenadas 26° 00' y 26° 10' de latitud norte y 104° 10' y 103° 20' de longitud oeste, a una altitud de 1200 msnm. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973), el clima del área es del tipo BWhw(e), el cual corresponde al tipo de clima muy árido, semicálido con lluvias en verano y con temperaturas máximas y mínimas extremas en verano e invierno, respectivamente. La precipitación anual promedio es de 240 mm (García, 1973).

### Diseño y desarrollo del experimento

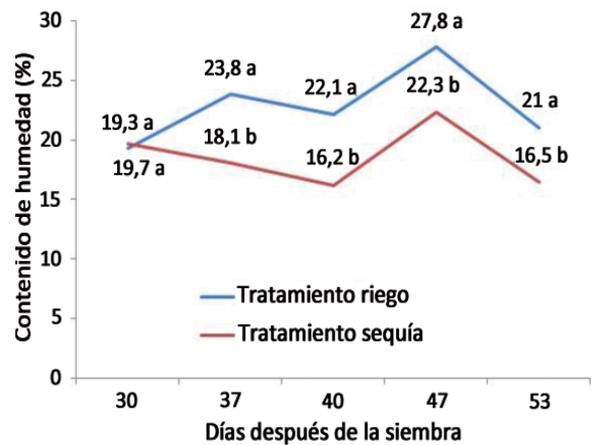
El suelo donde se estableció el experimento es superficial, calcáreo con 13% de carbonatos totales (CaCO<sub>3</sub>), con pH de 8,2, relativamente pobre en materia orgánica con un valor menor de 2,3% y de textura franco arcilloso (Ortiz et al., 2009).

Se usó un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. Las parcelas grandes fueron los tratamientos de riego y sequía. El primero referido al contenido de humedad a capacidad de campo (CC: 22 - 26%), y el segundo al contenido de humedad a punto de marchitez permanente (PMP: 16 - 20). Los anteriores valores corresponden a un rango de 84,6 a 100% y 61,5 a 76,9% de la humedad aprovechable, respectivamente.

La humedad aprovechable (HA) se consideró como la diferencia entre CC y PMP, la cual se determinó en porcentaje con la ecuación:  $HA = (CC - PMP) \cdot 100$ .

Las constantes de humedad de CC y PMP, correspondieron a 26 y 13%, respectivamente, de acuerdo con determinaciones previas al establecimiento del experimento, mediante el uso de la técnica de la olla de membrana de presión, citada por Richards (1948), la cual consiste en identificar los diferentes contenidos de agua en el suelo, en función de tensiones de energía, en unidades de presión como los Kpa. De esta manera, la curva de retención de humedad se define como la relación entre el potencial matricial y el contenido de agua en un suelo. El agua en el suelo está retenida por distintas fuerzas que determinan su potencial hídrico, el cual, en un suelo insaturado, se compone de potencial matricial (retención por capilaridad), potencial osmótico (retención por los iones en solución) y potencial gravitacional (ejercido por la fuerza de la gravedad) (Flores y Alcalá, s/f).

Hasta los veinticinco días después de la siembra (DDS) los tratamientos de humedad fueron mantenidos a CC; posteriormente, se diferenciaron de acuerdo con los porcentajes de humedad antes citados. Los muestreos de la humedad del suelo se realizaron a los 30, 37, 40, 47 y 53 DDS, donde se identifica la diferenciación de humedad a través del tiempo en los dos tratamientos de riego y sequía (Figura 1).



**Figura 1.** Contenido de humedad edáfica en los tratamientos de riego (contenido de humedad a capacidad de campo: 22 – 26%) y sequía (contenido de humedad próximo a punto de marchitez permanente: 16 – 20%) en diferentes fechas de muestreo. Bermejillo, Durango, México. 2014.

Prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), cifras con las mismas letras dentro de una misma fecha, son estadísticamente iguales.

**Figure 1.** Soil moisture content in irrigation treatments (moisture content at field capacity: 22 to 26%) and drought (moisture content near to wilting point: 16 to 20%) in different sampling dates. Bermejillo, Durango, Mexico. 2014.

Tukey test ( $P \leq 0.05$ ), numbers with the same letters within the same date are statistically equal.

Las parcelas chicas fueron las variedades de frijol: frijol Pinto Centauro, Pinto Americano y Pinto Saltillo. Se implementó un sistema de riego por goteo con uso de “cintilla”, derivada esta a partir de una regadera principal y conexiones laterales a base de PVC para cada parcela grande, en la cual el nivel de humedad fue controlado mediante una llave de paso.

La siembra se estableció en surcos de 0,30 m de altura y 0,8 m de ancho, con una distancia de 0,15

m entre plantas y 0,20 m entre surcos. Se sembró a dos hileras en cada surco a una distancia de 0,30 m y una cintilla de riego entre hileras. Cada unidad experimental fue de cuatro surcos de 6 m de longitud cada uno, descartando los dos surcos extremos, los dos surcos medios correspondieron a la parcela útil, a partir de los cuales se seleccionaron cuatro plantas al azar y se midieron las respectivas variables.

El riego de pre-siembra fue generalizado durante 15,4 h con un gasto por gotero de 29,4 l/h a una presión de 2,7 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual corresponde a una lámina de riego de 21,4 cm a CC; a los veinticinco días después de la siembra (dds), se diferenciaron los contenidos de humedad en el suelo. Para ello, se establecieron los tiempos de riego: para mantener el contenido de humedad favorable, se dejó bajar la humedad del suelo a 1/3 de la humedad aprovechable (aproximadamente a 22% de humedad edáfica), procediendo a dar el riego de recuperación a 26%; mientras que para mantener el contenido desfavorable, se dejó bajar la humedad del suelo a 16% (3% arriba de PMP), procediendo a dar el riego de recuperación a 20%. Lo anterior significa que el tratamiento de riego se mantuvo en una lámina de riego promedio de 19,7 cm ((21,4+18,1)/2) y el de sequía a 14,7 cm ((16,4+13,1)/2).

Los materiales genéticos son variedades regionales comerciales y con uniformidad genética dentro de variedad. La variedad Pinto Saltillo fue producida por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en colaboración con el Centro de Agricultura Tropical (CIAT) (Sánchez, 2001); en tanto que la variedad Pinto Centauro fue obtenida en 2010 por el INIFAP, Durango (Rosales et al., 2012). La variedad Pinto Americano es de origen estadounidense (Rodríguez et al., 2010).

El presente trabajo es de tipo físico-morfométrico y fisiológico, que permite dilucidar las relaciones hídricas en condiciones contrastantes de humedad edáfica y la respuesta de la planta en términos de crecimiento y fisiología durante la fase de plántula a prefloración, por ello los valores de crecimiento y desarrollo de planta son relativamente moderados, más aún al promediarse los valores de riego y sequía. No obstante lo anterior, fue posible encontrar efecto de tratamiento, ya que el potencial genético de tolerancia al estrés por factores adversos puede ser identificado en las diferentes etapas de desarrollo de la planta, desde la germinación de la semilla hasta la madurez y producción (Pedroza, 1995). Por las condiciones

áridas del lugar, el riego y sequía fueron inducidos, por lo que lo bajo de la precipitación pluvial para el 2014, la cual fue de 130 mm anual, no interfirió de manera significativa en el estudio.

### Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: el contenido de humedad edáfica a 30 cm de profundidad del suelo, realizada con un medidor modelo PMS-714, con lectura digital en tiempo real; altura de planta, medida con cinta métrica graduada en cm; porcentaje de emergencia de plántulas, mediante conteo del total de plantas nacidas, respecto al total de semillas sembradas por unidad experimental en la parcela útil (los dos surcos medios); porcentaje de plantas marchitas, esta medida corresponde al cociente obtenido entre el número de plantas marchitas y el total de plantas por tratamiento multiplicada por 100; cobertura vegetal, medida con una malla alambre de 1 m<sup>2</sup>, graduada en centímetros cuadrados.

Las variables morfométricas de la planta fueron medidas tres veces en el tiempo: en la fase de plántula, vegetativa y floración, correspondiente a los 25, 39 y 53 días después de la siembra (dds). Adicionalmente, en la fase de floración se midieron las variables fisiológicas de fotosíntesis (F) en mmol CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/s; conductancia en mol H<sub>2</sub>O m/s<sup>2</sup>; transpiración (Tr) en mmol H<sub>2</sub>O m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> mediante el uso de medidor de flujo de gases a base de rayos infrarrojos, modelo LI-6400. También se obtuvo la eficiencia en el uso de agua, mediante el cociente obtenido entre F/Tr.

### Procesamiento de datos

Mediante uso del programa estadístico SAS, versión 9.0, se realizaron análisis estadísticos de varianza y prueba de rango múltiple de medias Tukey.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Contenido de humedad edáfica

El contenido de humedad en el suelo fue igual estadísticamente en los diferentes tratamientos de riego (CC) y sequía (PMP) hasta los 30 dds, después de los cuales se diferenciaron los tiempos de riego para mantener los tratamientos próximos a CC y PMP

durante la fase vegetativa, prefloración y floración, lo cual fue consistente, dados los porcentajes de humedad mantenidos en uno y otro tratamiento, con una diferencia de entre 4 y 5% de humedad en el suelo en las diferentes fechas de muestreo, a los 30, 37, 40, 47 y 53 dds, con significancia estadística entre ambos tratamientos (Figura 1).

**Crecimiento y desarrollo de la planta**

El contenido de humedad afectó de manera significativa el crecimiento y desarrollo del frijol, según la variedad utilizada en las diferentes fechas de muestreo y por efecto de interacción entre la variedad y el propio contenido de humedad. Aunque con valores relativamente bajos, no hubo diferencia significativa en la nacencia de plántulas por efecto de variedad; en tanto que una vez emergida la plántula, se produjo una marchitez asociada a patógenos del suelo (*Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*), la cual fue significativamente mayor en la variedad Pinto Americano (12,5%) y moderadamente menor en las variedades Pinto Centauro y Pinto Saltillo (12,5% y 13,7%, respectivamente), sin diferencia estadística entre ambas (Cuadro 1).

La altura promedio de planta fue significativamente mayor en las dos últimas fechas de muestreo (39 y 53

**Cuadro 1.** Porcentaje de emergencia de plántulas y de marchitez de plantas, asociado a *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani* en tres variedades de frijol. Bermejillo, Durango, México. 2014.

**Table 1.** Percentage of plant emergency and plant wilt, associated to *Fusarium solani* and *Rhizoctonia solani* in three bean varieties. Bermejillo, Durango, Mexico. 2014.

Variedad de frijol	Nacencia de plántulas a los 15 dds (%)	Marchitez* de plántulas a los 30 dds (%)
Pinto Centauro	59,2 a	12,5 b
Pinto Americano	65,8 a	16,0 a
Pinto Saltillo	70,2 a	13,7 ab

Prueba de Tukey (P≤0,05). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales / Tukey test (P≤0.05). Numbers with the same letters within the same column are statistically equal.

dds= días después de la siembra / das = days after sowing.

\*Asociada a *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani* / Associated to *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani*.

dds). En las tres variedades de frijol evaluadas en este estudio, destacó la variedad Pinto Centauro, la cual siempre fue de mayor altura respecto a las otras dos variedades, con valores de 6,5, 9,8 y 10,7 cm a los 25, 39 y 53 dds, respectivamente (Cuadro 2); estos valores, corresponden a los promedios del crecimiento de la planta cuando esta se mantuvo tanto en condiciones de riego como de sequía, lo cual se debió a que el análisis estadístico fue en parcelas divididas en el tiempo, con el interés de conocer cuándo hubo o no un crecimiento significativo en el tiempo, independientemente de la condición de humedad en el suelo. Por ello, se presentaron valores moderados de esta variable y otras de tipo morfométrico, como la cobertura vegetal.

**Cuadro 2.** Crecimiento promedio (riego y sequía) de la planta en días después de la siembra (DDS) en tres variedades de frijol. Bermejillo, Durango, México. 2014.

**Table 2.** Average growing (irrigation and drought) of the plant in different sampling dates, days after planting (DAP) on three bean varieties. Bermejillo, Durango, Mexico. 2014.

DDS	Pinto Centauro (cm <sup>2</sup> )	Pinto Americano (cm <sup>2</sup> )	Pinto Saltillo (cm <sup>2</sup> )
25	80,2 d	65,7 b	66,9 b
39	126,7 b	125,7 a	107,6 a
53	170,9 a	140,9 a	134,1 a

Prueba de Tukey (P≤0,05). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales / Tukey test (P≤0.05). Numbers with the same letter within the same column are statistically equal.

das = days after sowing / DDS= días después de la siembra.

La cobertura vegetal mostró un comportamiento muy similar al de la altura, significativamente mayor en las dos últimas fechas de evaluación, respecto de la primera; destacó la variedad Pinto Centauro, un comportamiento intermedio fue observado en la variedad Pinto Americano y el de menor respuesta el Pinto Saltillo (Cuadro 3). Lo anterior significa que las etapas de mayor crecimiento y cobertura se presentaron durante la fase de prefloración, para después tender hacia la etapa de estabilización. Lo anterior coincide con el comportamiento general de las plantas: una

**Cuadro 3.** Incremento de la cobertura vegetal promedio (riego y sequía) en diferentes fechas de muestreo en tres variedades de frijol. Bermejillo, Durango, México, 2014.

**Table 3.** Increase of the average plant coverage (irrigation and drought) in three different sampling dates on three bean varieties. Bermejillo, Durango, Mexico. 2014.

DDS	Pinto Centauro (cm <sup>2</sup> )	Pinto Americano (cm <sup>2</sup> )	Pinto Saltillo (cm <sup>2</sup> )
25	80,2 d	65,7 b	66,9 b
39	126,7 b	125,7 a	107,6 a
53	170,9 a	140,9 a	134,1 a

Prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Cifras con la misma letra dentro de una misma columna, son estadísticamente iguales / Tukey test ( $P \leq 0,05$ ). Numbers with the same letter within the same column are statistically equal.

das = days after sowing / DDS= días después de la siembra.

etapa de crecimiento lento, luego la fase exponencial y finalmente la de estabilización (Coombs et al., 1988).

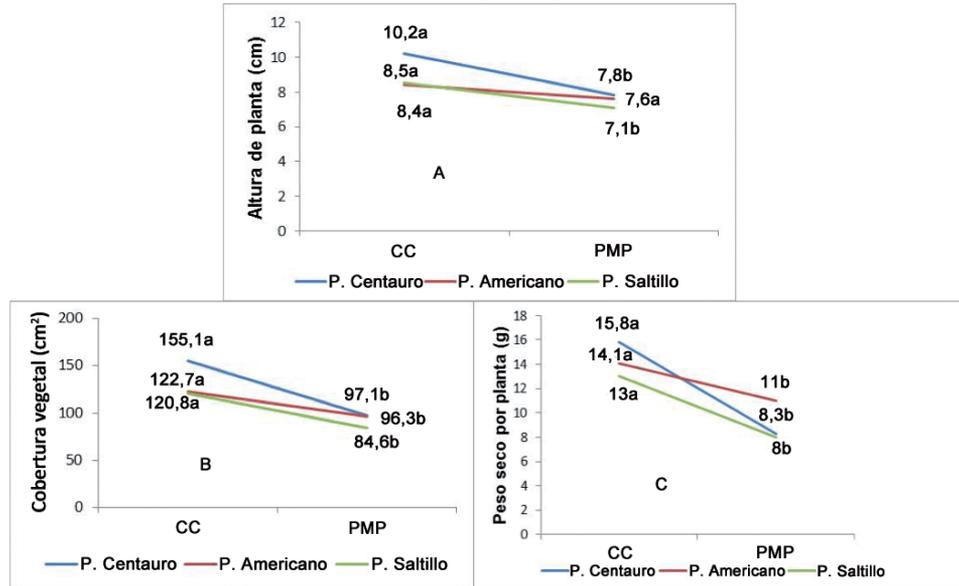
De acuerdo con el efecto del genotipo promedio, todo material que mantenga una mayor estabilidad de comportamiento al pasar de la condición favorable de humedad del suelo (CC) a la de estrés hídrico (PMP), se considerará como material genético con mayor potencial en su capacidad de adaptación a la sequía (Pedroza, 1995). De acuerdo con Acosta et al. (1998), los diferentes genotipos de frijol responderán de forma diferente ante situaciones de estrés, ya que cada uno tiene sus propios mecanismos que le confieren adaptabilidad a las condiciones de déficit hídrico.

En este estudio, la variedad Pinto Centauro siempre mantuvo una mejor respuesta de altura de planta, cobertura vegetal y materia seca, respecto a las otras dos variedades; los resultados obtenidos indican que esta variedad siempre fue estadísticamente superior en estas variables al ser mantenida bajo un contenido de humedad del suelo próxima a CC; sin embargo, la variedad Pinto Americano tuvo una estabilidad de comportamiento al pasar de una condición de humedad edáfica a otra, al menos en altura de planta, cobertura vegetal y peso de materia seca (Figuras 2a, 2b y 2c). Lo anterior significa que, aunque con valores menores de crecimiento y desarrollo que la Pinto Centauro, la variedad Pinto Americano fue la más estable. Esta variedad se identifica como la de mayor

perspectiva para desarrollarse bajo una condición de sequía, lo cual coincide con estudios realizados en años anteriores al ser comparada con otros materiales genéticos de frijol en la región (Pedroza et al., 2013); no obstante, se presentó sensible a otros factores adversos como la pudrición de raíz asociada a hongos del suelo (*Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*) (Pedroza y Samaniego, 2003). En tanto, la variedad Pinto Centauro se mostró como la de mejor respuesta en crecimiento, cobertura vegetal y peso de materia seca por planta (Figuras 3a, 3b y 3c) en condiciones favorables de humedad edáfica (CC). Lo anterior indica que para áreas de temporal o de riego con problemas de sequía, la variedad de mayor viabilidad es la Pinto Americano; mientras que para zonas de buen temporal o de riego con suficiente disponibilidad hídrica, la variedad Pinto Centauro es la mejor opción.

### Efecto de interacción variedad-contenido de humedad

Las tres variedades disminuyeron su crecimiento y desarrollo al pasar de la condición de riego a las de sequía, estos resultados se encuentran acorde a lo identificado por Núñez et al. (1998) y Passioura (1994), quienes indican que el déficit hídrico disminuye significativamente el crecimiento, afectando de forma negativa la captación de radiación solar y por ende la producción de materia seca, debido a una menor conductancia y fotosíntesis. Sin embargo, en este estudio se confirma que el mejor material de respuesta bajo condiciones favorables de humedad edáfica fue la variedad Pinto Centauro, estadísticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) a las otras dos variedades, con valores de 10,2 cm, 155,1 cm<sup>2</sup> y 5,7 g de altura de planta, cobertura vegetal y peso seco por planta, respectivamente. Le siguió en importancia la variedad Pinto Saltillo y en una condición intermedia Pinto Americano (Figura 2). Lo anterior ocurrió estrictamente cuando no se presentaron condiciones de déficit hídrico, como las áreas de riego sin restricciones de agua, lo cual no fue el caso de la Comarca Lagunera, donde existe un grave problema de recursos hídricos (CONAGUA, 2010), lo cual requiere hacer un uso más eficiente del agua. Se considera que en circunstancias de déficit hídrico, la variedad Pinto Americano puede ser la mejor opción; inclusive la Pinto Saltillo también podría utilizarse, cuando el factor limitante, además del agua, sea la pudrición de raíz causante de marchitez de plantas,



**Figura 2.** Comportamiento de tres variedades de frijol en la altura de planta (A), cobertura vegetal (B) y peso de materia seca por planta (C) en condiciones de riego (contenido de humedad a capacidad de campo: 22 – 26%) y sequía (contenido de humedad próximo a marchitez permanente: 16 – 20%). Bermejillo, Durango, México. 2014.

Prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), líneas de la misma variedad con las mismas letras, son estadísticamente iguales. P. Centauro= Variedad Pinto Centauro; P. Americano= Variedad Pinto Americano; P. Saltillo= Variedad Pinto Saltillo.

**Figure 2.** Behavior of different varieties of beans in plant height (A) vegetation cover (B), and dry matter weight per plant (C) under irrigation (soil moisture to field capacity FC: 22 – 26%) and drought conditions (soil moisture near to permanent wilting point PWP: 16 to 20%). Bermejillo, Durango, Mexico. 2014.

Tukey test ( $P \leq 0,05$ ) lines of the same variety with the same letters are statistically equal. Bermejillo, Durango. 2014. P. Centauro= Pinto Centauro Variety; P. Americano= Pinto Americano Variety; P. Saltillo= Pinto Saltillo Variety.

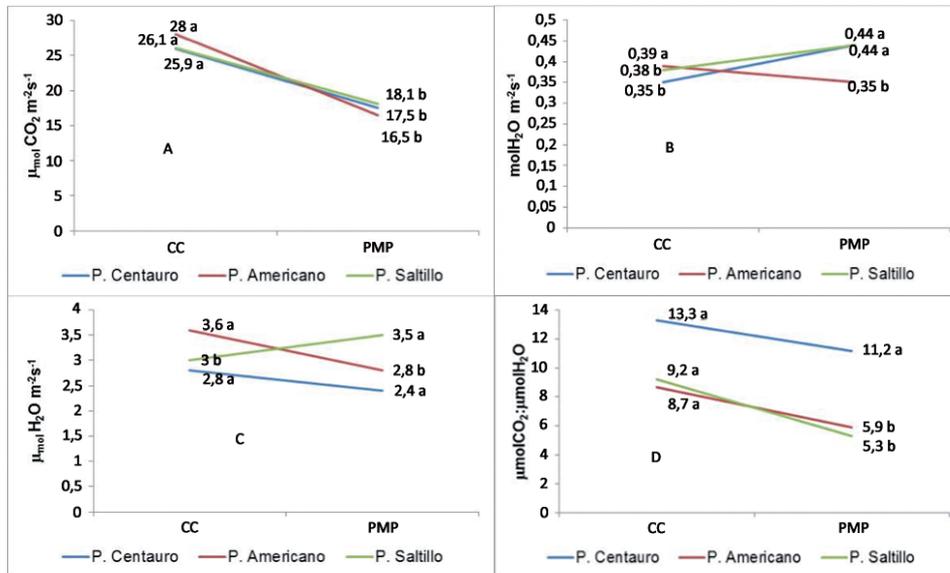
donde este material tiene una mejor respuesta que la variedad Pinto Americano (Cuadro 1).

### Fisiología de la tolerancia al estrés hídrico

Las tres variedades tuvieron un comportamiento similar en la actividad fotosintética al pasar de una condición hídrica a otra, aunque hubo una tendencia de mayor estabilidad en las variedades Pinto Centauro y P. Saltillo los cuales varían su actividad fotosintética de 25,9 y 26,1 a 17,5 y 18,1 mmol de  $\text{CO}_2 \text{ m}^2/\text{s}$  al pasar de la condición hídrica favorable al estrés hídrico, respectivamente; en tanto que la variedad

Pinto Americano fue la más afectada, con valores de 28 a 16,5 mmol de  $\text{CO}_2 \text{ m}^2/\text{s}$  (Figura 3a).

Respecto a la transpiración, sí hubo un efecto marcadamente diferencial, donde la variedad que más redujo esta variable al pasar a la condición favorable de humedad a una condición de estrés hídrico fue la variedad Pinto Americano pasando de 3,6 a 2,8 mmol de  $\text{H}_2\text{O m}^2/\text{s}$  (Figura 3c), lo cual explica el comportamiento de respuesta de la fotosíntesis y la producción de materia seca en esta variedad; al reducirse la conductancia estomática (Figura 3b) se reduce la transpiración (Figura 3d), pero ello repercutió en una menor fotosíntesis y producción



**Figura 3.** Comportamiento en diferentes variedades de frijol en fotosíntesis (A), conductancia (B), transpiración (C) y eficiencia en el uso del agua (fotosíntesis/transpiración) (D) en condiciones de riego (contenido de humedad a capacidad de campo CC: 22 – 26%) y sequía (contenido de humedad próximo a marchitez permanente PMP: 16 – 20%). Bermejillo, Durango, México. 2014.

Prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), cifras con las mismas letras sobre la línea de una misma variedad, son estadísticamente iguales. P. Centauro= Variedad Pinto Centauro; P. Americano= Variedad Pinto Americano; P. Saltillo= Variedad Pinto Saltillo.

**Figure 3.** Behavior in different varieties of beans in photosynthesis (A), conductance (B), sweating (C), and water use efficiency (photosynthesis / transpiration) (D) under irrigated conditions (moisture content to field capacity FC: 22 to 26%) and drought (moisture content near to permanent wilting point PWP: 16 to 20%). Bermejillo, Durango, Mexico. 2014.

Tukey test ( $P \leq 0.05$ ). Numbers with the same letters over the line of the same variety are statistically equals. P. Centauro= Pinto Centauro variety; P. Americano= Pinto Americano variety; P. Saltillo= Pinto Saltillo variety.

de materia seca, producto de la presión ambiental impuesta por el estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). Las variedades Pinto Centauro y Pinto Saltillo tuvieron un comportamiento intermedio en relación con estas variables, pero destacó significativamente la variedad Pinto Centauro con relación a una mayor eficiencia en el uso de agua en ambas condiciones hídricas, con valores de 13,3 y 11,2  $\mu\text{mol de CO}_2$ :  $\mu\text{mol de H}_2\text{O}$  al pasar de la condición hídrica favorable a la desfavorable, respectivamente. Las otras dos variedades tuvieron un comportamiento de eficiencia menor y muy similar entre ellas, con valores promedio de ambas variedades de 8,9 a 5,6  $\mu\text{mol de CO}_2$ :  $\mu\text{mol de H}_2\text{O}$ , al pasar de la condición hídrica favorable a

la desfavorable, respectivamente (Figura 3d). Los resultados mostrados anteriormente fueron congruentes con la respuesta en el comportamiento del desarrollo y crecimiento de la planta.

## AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a los grupos de licenciatura de 6° año de Sistemas Agrícolas y de Posgrado, ambos de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, por su colaboración en el levantamiento de datos experimentales.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, D.E., C.L. Trejo, L. del M.P. Ruiz, J.S.P. Padilla, y J.A.G. Acosta. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. *Terra Latinoamericana* 22:49-58.
- Acosta, D.E., I.T. Hernández, R.G. Rodríguez, J.A.G. Acosta, J.F. Pedroza, M.D.R. Amador, y J.S.R. Padilla. 2011. Efecto de la sequía en la producción de biomasa y grano de frijol. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2:249-263.
- Acosta, J.A., E.D. Acosta, J.S.R. Padilla, E.L. Salinas, R.A.P. Salinas, N.P. Mayek, y J.D. Kelly. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 41:151-152.
- Acosta, J.A., y J.S. Kohashi. 1989. Efecto de la sequía en tres etapas de desarrollo sobre el rendimiento y sus componentes de dos variedades de frijol, *Phaseolus vulgaris* L. *Agric. Téc. Méx.* 15:51-66.
- Acosta, J.A., P.V. Vargas, y J.W. White. 1996. Effect of sowing date on the growth and seed yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in highland environments. *Field Crops Res.* 49:1-10.
- Al-Kaisi, M., R.W. Elmore, J.G. Guzman, H.M. Hanna, Ch.E. Hart, M.J. Helmers, E.W. Hodgson, A.W. Lenssen, A.P. Mallarino, A.E. Robertson, and J.E. Sawyer. 2012. Drought impact on crop production and the soil environment: 2012 experiences from Iowa. *J. Soil Water Conserv.* 68:19-24.
- Celis, R., M.R. Peña, M. Luna, y J.R. Aguirre. 2010. Seed morphological characterization and reserves used during seedling emergency of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 27:61-87.
- Coombs, J., S.O. Hall, S.P. Long, and J.M.O. Scurlock., editores. 1988. *Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad*. Editorial Futura S.A., MEX.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Atlas digital del agua 2010. Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua, 2008. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/> (consultado 15 ago. 2014).
- Flores, D.L., y M.A.R. Alcalá. s/f. Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de Suelos, Instituto de Geología, UNAM, México D.F., MEX.
- García, E. 1973 *Apuntes de climatología*. Universidad Autónoma de México, MEX.
- Laing, D. R., G.P. Jones, and J.H.C. Davies. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: M.M. Ludlow, and R. Muchow, editors, *Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation*. FAO, USA. p. 107-153.
- Lal, R., J.A. Delgado, J. Gulliford, D. Nielsen, Ch.W. Rice, and R.S.V. Pelt. 2012. Adapting agriculture to drought and extreme events. *J. Soil Water Conserv.* 67:162-166.
- Martínez, V.J., R.A. Silva, e I. Sánchez. 2004. Tecnología de producción para frijol de riego en el norte y centro de Coahuila. Folleto para productores. no. 6. INIFAP, MEX.
- Muñoz, O.A. 1978. Técnicas de investigación para resistencia a sequía y heladas. En: VIII Reunión de Maiceros de la Zona Andina y I Reunión Latinoamericana de Maíz. 21-22 de mayo. Lima, PER. 18 p.
- Nielsen, D.C., and N.O. Nelson. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Sci.* 38:422-427.
- Nilsen, E.T., y D.M. Orcutt. 1996. *Physiology of plants under stress. Abiotic factors*. John Wiley & Sons, INC, NY, USA.
- Núñez, B.A., J. Ritchie, y A.J.M. Smucker. 1998. El efecto de la sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepción de luz en el frijol común. *Agron. Mesoam.* 9:1-8.
- Ortiz, H.G., R. Trejo, R.D. Valdez, J.G. Arreola, A. Flores, y B. López. 2009. Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Rev. Chapingo Serie Hortic.* 15:161-168.
- Padilla, J.S., E. Acosta, R. Gaytán, y V.M. Rodríguez. 2005. Índice de área foliar en frijol de temporal y su relación con biomasa y rendimiento. *Agric. Téc. Méx.* 31:213-219.
- Passioura, J.B. 1994. The yield of crops in relation to drought. In: K.J. Boote et al., editors, *Physiology and determination of crop yield*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA. p. 343-359.
- Pedroza, A. 1995. El déficit hídrico en las plantas. Principios y técnicas de manejo. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, MEX.
- Pedroza S., A. C.R. Trejo, J.A. Chávez, R. y J.A., Samaniego, G. 2013. Tolerancia al estrés hídrico y fitosanitario mediante indicadores agronómicos y fisiológicos en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Mex. Fitopatol.* 31(2):91-104.
- Pedroza, A., y G.A. Samaniego. 2003. Efecto del subsoleo, materia orgánica y diferentes variedades en el patosistema del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Mex. Fitopatol.* 21:272-280.

- Peña, C.B., A.B. Sánchez, J.R. Trejo, J.R. Aguirre, y E. Cárdenas. 2005. Root anatomy of drought sensitive and tolerant maize (*Zea mays* L.) seedlings under different water potentials. *Cer. Res. Comm.* 33:705-712.
- Richards, L.A. 1948. Porous plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. *Soil Sci.* 66:105-110.
- Rodríguez, L.G., J.A. García, S. Rebollar, y A.C. Cruz. 2010. Preferencias del consumidor de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico* 2(1):121-145.
- Rosales, R., F.J. Ibarra, y E.I. Cuellar. 2012. Pinto Centauro, nueva variedad de frijol para el estado de Durango. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 3:1467-1474.
- Rosales, R., J. Kohashi, J.A. Acosta, C. Trejo, J. Ortiz, y J.D. Kelly. 2004. Biomasa distribution, maturity acceleration and yield in drought-stress common bean cultivars. *Field Crop Res.* 85:203-211.
- Rosales, R., R. Ochoa, y J.A. Acosta. 2001. Fenología y rendimiento del frijol en el altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. *Agrociencia* 35:513-523.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Naturales, Pesca y Alimentación). 2011. Anuario estadístico de producción agrícola por cultivo. Centro de Estadística Agropecuaria, México D.F., MEX.
- Sánchez, V.I. 2001. Pinto Saltillo: nueva variedad de frijol para el sureste del Estado de Coahuila. INIFAP Campo Experimental "Saltillo". Folleto Técnico Núm. 8. 2 p. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/363/678.pdf?sequence=1>. (consultado 3 may. 2015).
- Treviño, Q.C., y Q.R. Rosas. 2013. El frijol común: Factores que merman su producción. *Rev. La Ciencia y el Hombre*. Enero-Abril, 2013. [www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol26num1/articulos/el-frijol.htm](http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol26num1/articulos/el-frijol.htm) (consultado 15 dic. 2013).