

Efecto del estrés hídrico en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de invernadero

Jenaro Reyes-Matamoros¹, David Martínez-Moreno², Rolando Rueda-Luna¹, Tobías Rodríguez-Ramírez²

Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas¹, Escuela de Biología²

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Puebla, México

jenaro.reyes@correo.buap.mx, davidman850@hotmail.com

Abstract— The aim of the study was to evaluate the growth of plants of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and "ayocote" bean (*Phaseolus coccineus* L.) in a greenhouse under conditions of water deficit. The results showed that water stress in *Phaseolus vulgaris* L. plants did not affect the number of leaves, branches and reproductive structures, except for the treatment of 50% water. The 75% water stimulated leaf area. The treatments affected all vegetative organs, but not the reproductive organs. Also, the water stress in *Phaseolus coccineus* L. plants affect the number of leaves, branches and reproductive structures. The 75 and 50% water did not influence in leaf area. The treatments affected all plant organs.

Keywords— *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus*, water deficit, retranslocation.

Resumen— El objetivo del estudio fue evaluar el crecimiento de plantas de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) y frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en invernadero en condiciones de déficit hídrico. Los resultados mostraron que el estrés hídrico en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. no afectó el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas, excepto para el tratamiento de 50% de agua. El 75% de agua estimuló el área foliar. Los tratamientos afectaron todos los órganos vegetativos, pero no los órganos reproductivos. Asimismo, el estrés hídrico en plantas de *Phaseolus coccineus* L. afectó el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas. El 75 y 50% de agua no influyeron en el área foliar. Los tratamientos afectaron todos los órganos de las plantas.

Palabras clave— *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus*, déficit hídrico, retranslocación.

I. INTRODUCCIÓN

En México, el cultivo de las leguminosas es tan antiguo como las culturas prehispánicas; los restos arqueológicos muestran evidencias de uso en la alimentación por más de 4,000 años. Las leguminosas después de los cereales, constituyen la fuente más importante de alimentos de origen vegetal y es la principal fuente de proteínas en el sector de la población de bajos ingresos. México es el centro de origen y diversidad del género *Phaseolus* conteniendo en su territorio al 95% de las especies reconocidas [1,2]. Actualmente las especies que más se cultivan y en orden descendente por su importancia son: frijol (*Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus*, *Phaseolus lunatus* y *Phaseolus acutifolius*), soya (*Glycine max*), garbanzo (*Cicer arietinum*), haba (*Vicia faba*), cacahuete (*Arachis hypogaea*) y lentejas (*Lens culinaris*) [3].

El género *Phaseolus* es el más importante desde el punto de vista alimenticio, éste se siembra en todas las regiones agrícolas del país. De esta manera representa una enorme importancia para el país desde diversos enfoques: económico, alimentario, biológico y cultural. Es el segundo cultivo en importancia en cuanto a superficie sembrada y es también, sobre todo en poblaciones rurales y sector urbano de escasos recursos, un alimento básico con un notable aporte proteico a la dieta [4]. El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) presenta un gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población humana mediante el uso de su follaje, flores, vainas y semillas [5]. En

estado silvestre es una planta perenne y su forma cultivada es anual, tradicionalmente se siembra en asociación con maíz [6,7].

En México se siembra más de un millón de hectáreas de frijol, localizadas principalmente en la región del altiplano semiárido entre 1800 y 2200 msnm, con una precipitación media anual de 200 a 400 mm [8]. El 85% de la superficie se establece en el ciclo de primavera-verano principalmente bajo condiciones temporal, con un rendimiento promedio de 554 kg ha⁻¹ [9]. El 45% de frijol que se consume es importado, esto es debido a que el 60% de frijol se siembra en zonas sin potencial productivo y de bajos rendimientos, el 87.3% de la producción de frijol se produce en la temporada de lluvias [10].

El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), al igual que otros cultivos de importancia económica, es afectado durante su crecimiento y desarrollo por factores ambientales adversos como: precipitación, temperatura, humedad, viento, luminosidad y mala distribución en gran proporción del área cultivada [11]. Debido a que la especie se cultiva principalmente en condiciones de temporal, cuyas siembras se establecen desde finales de mayo hasta principios de julio y es afectado por las plagas y enfermedades. Así mismo como factores edáficos que varían entre localidades como: topografía, tipo de profundidad del suelo, para formar un ambiente de producción complejo del cultivo de esta leguminosa durante el año [12].

El 60% de la producción mundial de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se obtiene en condiciones de déficit hídrico, por lo que este factor es quien más contribuye en la reducción del rendimiento después de las enfermedades [13]. El estrés por sequía, es causado por la baja disponibilidad de agua en el suelo, modificando negativamente la productividad del frijol. Esta es afectada dependiendo de la intensidad, duración de la escasez de agua y de la rapidez con la cual se alcance dicha intensidad y además de la etapa fenológica en que el efecto ocurra, así como el precondicionamiento de la planta [14,15]. El frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico y al calor presente con frecuencia en forma simultánea en las etapas fenológicas más sensibles de la planta: para la formación del rendimiento en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; este tipo de estrés abiótico disminuye el rendimiento y calidad de la producción [16]. Miranda y Belmar [17] realizaron un estudio del déficit y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) encontraron que hubo un efecto significativo sobre el rendimiento en la disminución de grano, el número de vainas por planta debido al déficit de humedad del suelo durante los estadios de crecimiento, floración y formación de grano. Núñez et al. [18] evaluaron el impacto del estrés hídrico en el crecimiento del frijol común, encontraron una disminución rápida en el índice del área foliar, presentando una reducción en el inicio de la floración que fue menor en un 65% en comparación al testigo, así mismo, la conductancia estomática y la fotosíntesis se redujeron bajo estrés hídrico.

Peña y Muñoz [19], encontraron que un estrés de humedad reduce severamente el índice de área foliar, peso seco, número de granos y el rendimiento del frijol, pero las especies mostraron una alta recuperación en crecimiento y producción de vaina cuando se riega después del tratamiento de sequía. Babalola [20] estudió el efecto del estrés hídrico del suelo sobre tres variedades de frijol, encontró que estas redujeron significativamente el crecimiento y el rendimiento (34 y 64%) de las variedades cuando las plantas estaban en la etapa de floración y fructificación. Al respecto, Elston y Bunting [21] indicaron que los cultivos de leguminosas eluden la sequía madurando antes de que se desarrolle una deficiencia sustancial en la humedad del suelo. Kohashi et al. [22] reportaron que el estrés hídrico inhibió en diferente grado la acumulación de materia seca en los fitómeros, sus componentes y ramas, así como el área foliar de acuerdo a la posición de la planta y las etapas de desarrollo, presentando una reducción en el área foliar y en el peso seco.

Guzmán [23] evaluó bajo condiciones controladas el estrés hídrico al crecimiento de frijol, encontrando que el peso seco total de raíces no presentó diferencias en el tratamiento bajo riego, y con estrés hídrico estos resultados demuestran que en condiciones de sequía las raíces crecen más profundas que con riego. Por otro lado, el peso seco total de follaje bajo riego presentó un mayor peso foliar que con estrés hídrico.

El objetivo del estudio fue evaluar el crecimiento y desarrollo de plantas de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) y frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en invernadero en condiciones de déficit hídrico.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante el ciclo verano-otoño de 2012, en un invernadero tipo túnel con cubierta de plástico de la Escuela de Biología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, localizada a 19° 00' de latitud norte y 98° 12' longitud oeste, con una altitud de 2016 metros, temperatura media anual de 15.2 °C y una precipitación media anual de 900.8 mm [24].

Las semillas utilizadas fueron frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) y frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). El diseño experimental fue completamente al azar, con 3 tratamientos de agua (100, 75 y 50%) y 3 repeticiones con 10 individuos por repetición. Para la siembra se utilizaron macetas de plástico con capacidad de 5 kg, las cuales se llenaron con una mezcla de tierra negra, arena y arcilla en proporción de 2:1:1, el fertilizante fue excremento de borrego, el cual se mezcló con ayuda de una pala hasta obtener una mezcla homogénea. Después, se procedió a sembrar tres semillas por maceta para asegurar la germinación de por lo menos una, a una profundidad de 2 cm. El aclareo se llevó a cabo a los 12 días después de la siembra. Una vez que las plantas crecieron presentaron mosca blanca la cual fue controlada con la aplicación del fungicida (Confidor®), para el control de los hongos se aplicó el fungicida (Benomyl 50 ®), y para combatir el gusano verde se aplicó cal alrededor de las macetas.

Los tratamientos de agua consistieron en la aplicación del 100, 75 y 50%. Para calcular el porcentaje de agua se procedió a obtener la cantidad de mezcla usada como sustrato de una de las macetas, se envolvió en papel y se introdujo a una estufa (de focos) durante 72 horas a 70°C. Después del secado se pesó el suelo en una pesola de 10 kg dando un total de peso seco junto con la maceta de 2540 g. Posteriormente se procedió a mojar el suelo a capacidad de campo para obtener el peso húmedo, el cual fue de 4000 g, la diferencia en peso seco y peso húmedo dio el 100% de agua, y a partir del peso del suelo a capacidad de campo se procedió a obtener el 75% de humedad (con un peso de 3735 g) y el 50% de humedad (con un peso de 3270 g). A continuación se cubrieron las macetas con papel aluminio sellándolas completamente para evitar pérdida de agua por evaporación, así mismo, se les instaló tutores de hilos y se amarraron las agarraderas en cada una de las macetas para mantener el porcentaje de agua para cada tratamiento, el peso se mantuvo constante hasta finalizar el experimento.

Al término del ensayo, se realizó una cosecha destructiva donde se midieron las siguientes variables: número de hojas, número de ramas, número de nudos, número de inflorescencias, número de botones, número de flores, número de vainas chicas, medianas y grandes, el área foliar, peso seco del tallo y peso seco de la raíz. Para la obtención de la raíz se procedió a vaciar el suelo de la maceta en un recipiente y de esta forma aflojar el suelo para obtenerla, sin dañarla demasiado, a continuación se lavaron y se limpiaron. Después se introdujeron en una bolsa de papel de estraza previamente etiquetada. Lo mismo se realizó con las demás estructuras, para posteriormente introducirlas en una estufa de secado (con focos) durante 72 horas a 70 °C, después del secado se realizó el peso en gramos de la raíz, tallo, hojas, inflorescencias, botones, flores y vainas, en todos los procesos de pesado se utilizó una balanza granataria, con excepción de las inflorescencias, botones y flores las cuales se pesaron con una balanza

analítica. Durante el ensayo se registró la temperatura máxima y mínima dentro del invernadero utilizando un termómetro de mercurio (Modelo 3101) escala $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el análisis de varianza (ANOVA) con el programa STAT2 con una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) [25]. Posteriormente, los resultados fueron graficados utilizando el paquete estadístico Origin® (versión 6.0).

III. RESULTADOS

La emergencia de *Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L. se presentó a los 8 días después de la siembra, con 95% de emergencia, lo cual representa una buena viabilidad de las semillas. Con respecto a la temperatura, los resultados obtenidos mostraron un punto máximo de $45.33\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un mínimo de $13.19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En lo referente al número de órganos en *P. vulgaris* L. las diferencias fueron similares en hojas, ramas, inflorescencias y botones para los tratamientos de 75% con respecto al testigo, pero en vainas chicas y área foliar sólo las plantas del 50% presentaron diferencias significativas con respecto al testigo. En el 75% existen diferencias en vainas medianas y grandes respecto al testigo (Tabla I).

En *P. coccineus* L. las diferencias en el número de órganos fue en hojas, vainas grandes, largo del eje de la inflorescencia y el área foliar en ambos tratamientos con respecto al testigo, y solo el 50% mostró diferencias en el número de ramas, botones, inflorescencias y nudos florales (Tabla II). No llegando a superar al testigo en ninguno de los parámetros medidos.

Tabla I. Estructura de la planta *Phaseolus vulgaris* L. bajo diferentes tratamientos hídricos.

Estructuras	Tratamiento en porcentaje de agua		
	100 %	75%	50%
Número de hojas	40.26 ± 3.08 (a)	31.86 ± 2.57 (b)	23.13 ± 2.72 (b)
Número de ramas	3.26 ± 0.24 (a)	2.33 ± 0.22 (b)	1.80 ± 0.21 (b)
Número de inflorescencias	8.90 ± 1.10 (a)	0.23 ± 0.14 (b)	0.63 ± 0.44 (b)
Número de botones	6.96 ± 1.0 (a)	0.31 ± 0.14 (b)	0.63 ± 0.34 (b)
Número vainas chicas	9.53 ± 1.25 (a)	9.70 ± 1.24 (a)	3.10 ± 0.69 (b)
Número de vainas medianas	2.56 ± 0.50 (b)	6.03 ± 0.96 (a)	3.0 ± 0.63 (a)
Número de vainas grandes	1.53 ± 0.37 (b)	7.10 ± 0.82 (a)	1.63 ± 0.37 (b)
Área foliar (cm^2)	59.84 ± 3.73 (a)	63.76 ± 4.32 (a)	38.62 ± 2.73 (b)

Entre paréntesis, letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) ($n=30$) [25].

En lo referente al peso seco (g) para *P. vulgaris* L. la figura 1A muestra que el peso seco de raíz en el testigo fue mayor que los tratamientos, llegando a registrar un peso de 2 g para el testigo, mientras que el peso seco para ambos tratamientos (75 y 50%) fueron de 1.41 y 0.72 g, respectivamente. Para el peso seco en tallo (g) la figura 1B muestra que el testigo en relación al 75% presenta valores similares 2.35 y 2.69 g. Sin embargo, el 50% muestra diferencias significativas siendo menor con respecto al testigo. En relación al peso seco (g) en hojas mostró valores similares en cuanto al testigo y 75% con un peso de 3.57 y 3.49 g respectivamente, en cambio para el 50% el peso fue de 1.49 g siendo menor que el testigo (Figura 1C). En cuanto al peso en flores los tratamientos no superaron al testigo, quien mostró un promedio de 0.19 g, mientras que el 75% y 50% fue de 0.020 y 0.008 g respectivamente (Figura 1D). En lo referente al peso seco (g) en vainas el 75% presentó un mayor peso (5.49 g) con respecto al testigo (1.19 g), mientras que para el 50% fue de 1.92 g, no habiendo diferencias significativas (Figura 1E).

Tabla II. Estructura de la planta *Phaseolus coccineus* L. bajo diferentes tratamientos hídricos.

Estructuras	Tratamiento en porcentaje de agua		
	100 %	75%	50%
Número de hojas	400.43 ± 24.59 (a)	274.03 ± 16.76 (b)	107.70 ± 11.38 (b)
Número de ramas	8.50 ± 0.5 (a)	8.83 ± 0.64 (a)	5.03 ± 0.61 (b)
Número de botones	16.30 ± 3.43 (a)	18.23 ± 4.49 (a)	1.36 ± 0.94 (b)
Número de inflorescencias	5.30 ± 1.43 (a)	4.23 ± 1.25 (a)	0.40 ± 0.21 (b)
Número de vainas chicas	0.16 ± 0.084 (a)	0.06 ± 0.046 (a)	0.3 ± 0.19 (a)
Número de vainas medianas	0.63 ± 0.23 (a)	0.36 ± 0.23 (a)	0.23 ± 0.23 (a)
Número de vainas grandes	0.53 ± 0.20 (a)	0.06 ± 0.04 (b)	0.0 ± 0 (b)
Área foliar (cm ²)	55.61 ± 2.84 (a)	42.67 ± 2.83 (b)	22.11 ± 1.83 (b)

Entre paréntesis, letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) ($n=30$) [25].

Para *P. coccineus* L. el registro de peso seco (g) en raíz mostró que el testigo (100% de agua) fue superior (14.84 g) a los tratamientos (75 y 50% de agua), quienes mostraron valores de 9.17 y 2.08 g respectivamente (Figura 2A). En el tallo se presentó el mismo patrón que en la raíz, con valores de 35.73 g para el testigo, 22.26 g y 4.89 g para el 75% y 50%, respectivamente (Figura 2B). En lo referente a las hojas fue similar al parámetro anterior, con 16.86 g para el testigo, 12.2 g para el 75% y 3.85 g para el 50% (Figura 2C). Mientras que para el peso seco (g) en flores solo el testigo y el 75% no mostraron diferencias, pero el 50% mostró un peso de 0.027 g lo cual denotó las diferencias significativas con respecto al testigo (Figura 2D). Por último, en vainas su peso seco (g) presentó el mismo patrón que en flores siendo el testigo superior con 2.8 g al 75 y 50%, respectivamente (Figura 2F).

Comparando el peso seco (g) en los diferentes órganos para ambas especies el patrón fue similar en raíz, tallo, hojas y flores, pero en vainas el frijol ejotero mostró un pico mayor en el tratamiento del 75%, mientras que en Ayocote fue decreciente el peso seco (g) en los tratamientos, no habiendo diferencias significativas entre el testigo y el 75% (Figura 3).

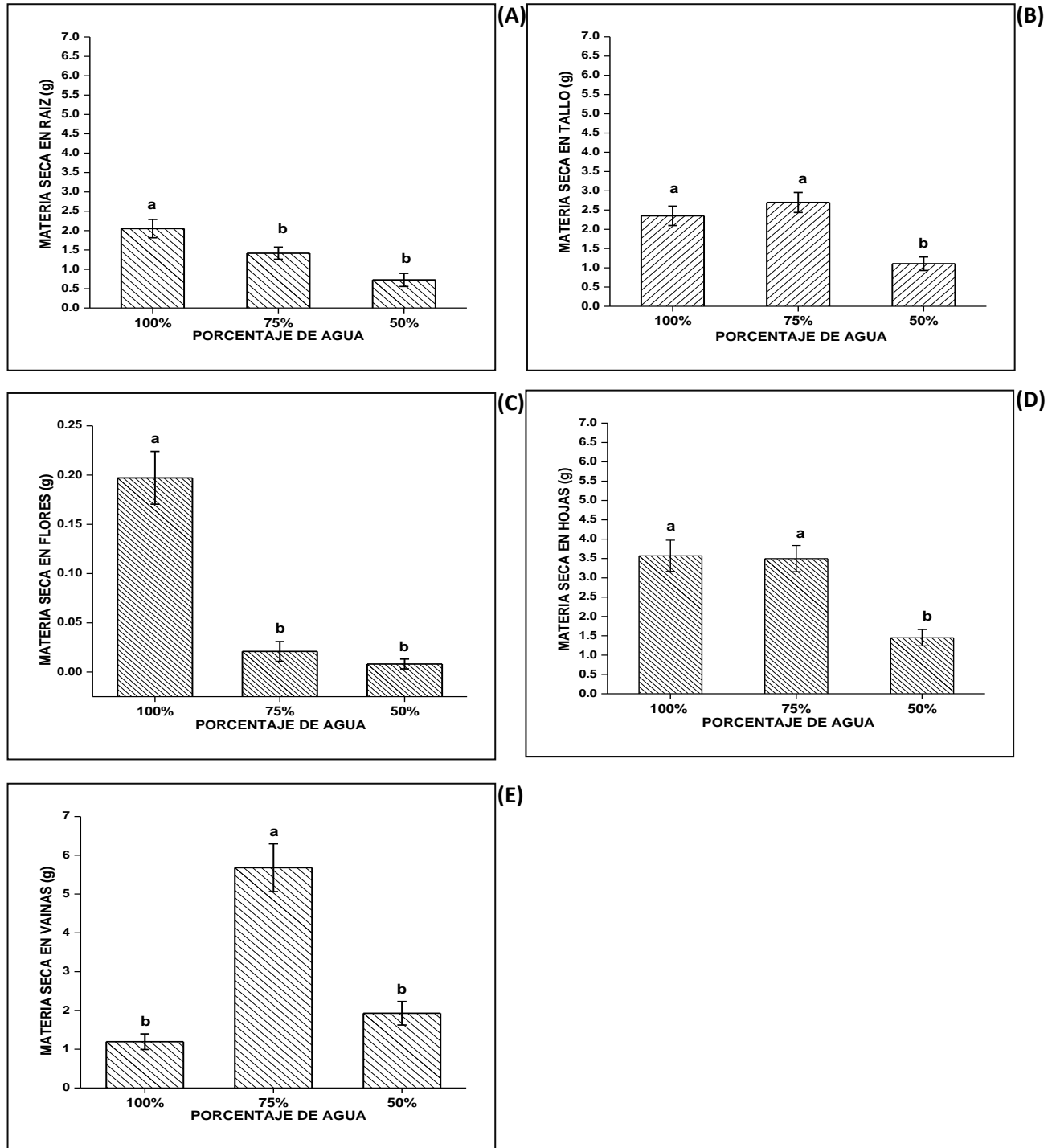


Fig. 1. Peso seco (g) de raíz (A), tallo (B), hojas (C), flores (D) y vainas (E), de la planta *P. vulgaris* L. en los distintos tratamientos de agua, líneas paralelas significan \pm estándar y letras iguales denotan que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$) (n=30) [25].

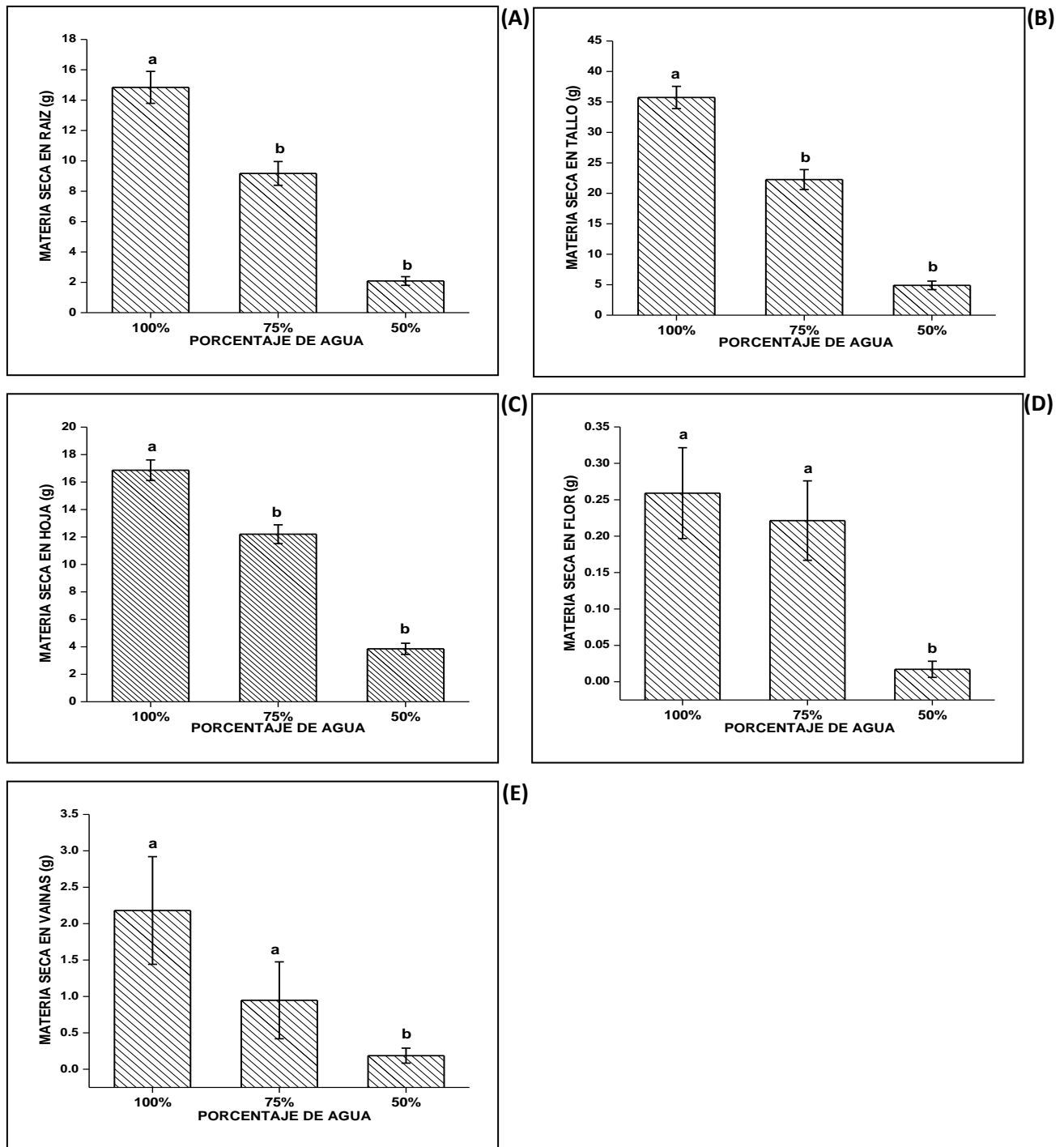


Fig. 2. Peso seco (g) de raíz (A), tallo (B), hojas (C), flores (D) y vainas (E), de la planta *P. coccineus* L. en los distintos tratamientos de agua, líneas paralelas significan \pm estándar y letras iguales denotan que no hay diferencias significativas ($p < 0.05$) (n=30) [25].

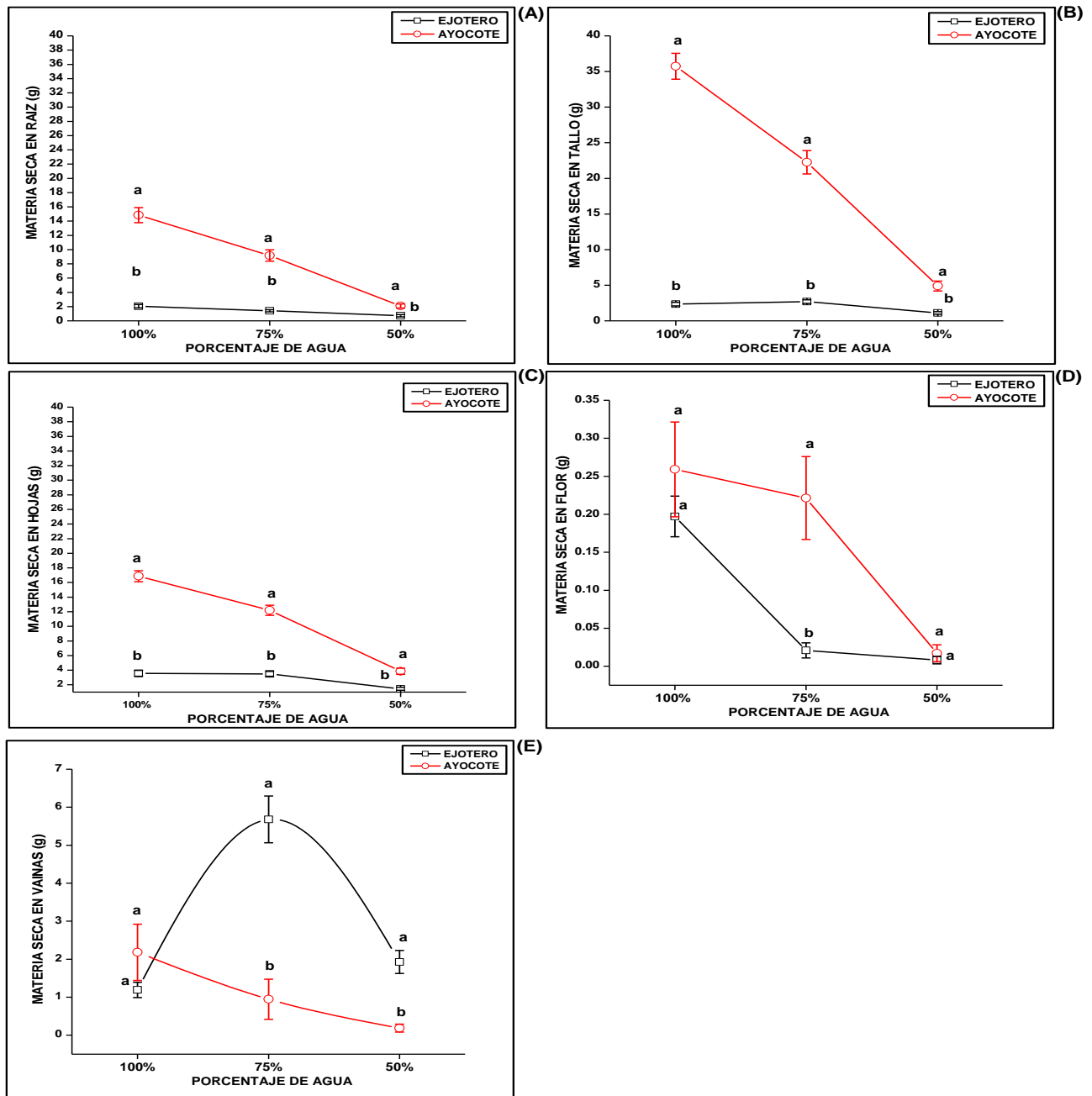


Fig. 3. Comparacion de biomasa en los diferentes órganos en peso seco (g) de raíz (A), tallo (B), hojas (C), flores (D) y vainas (E), de la planta *P. vulgaris* L.) y *P. coccineus* L. en los distintos tratamientos de agua, líneas paralelas significan ± estándar y letras iguales denotan que no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (n=30) [25].

IV. DISCUSIÓN

En lo referente la emergencia para ambas especies (*P. vulgaris* L. y *P. coccineus* L.) no presentaron diferencias significativas, puesto que se registró un 95% de emergencia, esto muestra que estas especies tienen una alta viabilidad aunque esto fue comprobado a través de la emergencia. Estos resultados no concuerdan con lo reportado por Ayala et al. [26] y Bermúdez [27], quienes encontraron una emergencia de 84% y 86% en *P. coccineus* L. Mientras que en *P. vulgaris* L. Celis et al. [28] obtuvieron una emergencia similar a lo registrado para este trabajo, teniendo un porcentaje de 92%. Esto tal vez se deba a la edad de la semilla, ya que es posible que la semilla utilizadas en este estudio era nueva cosecha.

Con respecto a la temperatura se registraron parámetros máximos de 45.33 °C y mínimo de 13.19 °C, esto demuestra que en condiciones de invernadero se llegan a presentar un estado de pre-acondicionamiento en temperaturas extremas que van desde frías a calurosas. Estudios realizados por Masaya y White [29] reportaron que el frijol dentro de temperaturas extremas puede sufrir daños irreversibles. Stobbe et al. [30]; Esquivel et al. [12]; Hall [31]; Gan et al. [32]; y Leport et al. [33] mencionan que temperaturas bajas retardan el crecimiento de la planta y en temperaturas altas aceleran el desarrollo y acortan la producción del crecimiento de los órganos reproductivos, esto se discutirá posteriormente.

En lo referente al número de hojas, en *P. vulgaris* L. y *P. coccineus* L. se encontraron diferencias significativas de los tratamientos de agua (75 y 50%) con una baja en su producción con respecto al testigo (100%). Esto coincide con lo mencionado por Parsons [34] que señala que hay una disminución en el contenido hídrico en la producción de hojas. Esto mismo pudo haber ocurrido en las plantas de frijol ejotero y ayocote quienes responden a diferentes niveles de concentración de agua, lo que reduce gradualmente la producción en hojas en las plantas, por lo tanto esto indica que la falta de agua para las plantas de ambos tratamientos se modifica a concentraciones distintas de agua, lo que denota que las plantas de ayocote son igualmente sensibles a la falta de agua, esto tal vez, se deba a que esta especie se encuentra en vías de domesticación, ya que presentó el mismo patrón que las plantas de *P. vulgaris* L. una especie sensible a la falta de agua.

En cuanto al número de ramas, inflorescencias, botones y flores en *P. vulgaris* L. de los tratamientos de agua 75 y 50% presentó diferencias significativas en relación al 100%. Así mismo, para el *P. coccineus* L. considerando las variables anteriores el 50% mostro diferencias significativas con respecto al 100%. Este estudio concuerda con Masaya y White [29]; Hall [31]; y Gan et al. [32], quienes mencionan que a temperaturas altas o bajas pueden afectar los órganos reproductores, es posible que en plantas de *P. vulgaris* L. este perdiendo esto dado que es una especie sensible al tener temperaturas extremas, como lo muestra el registro de temperaturas con un máximo de 45 °C y un mínimo de 13 °C. Mientras en plantas *P. coccineus* L. solo se afectó el tratamiento del 50%, lo que tal vez, haya decaído en que esta especie al estar en vía de domesticación, la falta de agua aunado con temperaturas altas y bajas se ve afectada disminuyendo el número de estructuras, esto coincide además con Stoker [35]; y Rainey y Griffiths [16], quienes señalan que la falta de agua puede disminuir el número de estructuras reproductivas.

En la producción de vainas las plantas de frijol ejotero, se vieron estimuladas en el tratamiento del 75% de agua, ya que la mayoría de las vainas chicas que se produjeron llegaron a transformarse en vainas grandes, esto puede deberse a que esta planta no retranslocaron mucha energía en estructuras vegetativas e inflorescencias y solo plantas del tratamiento con 50% de agua mostraron una baja como respuesta al déficit hídrico, pues hay que recordar que esta especie presenta autopolinización. Esto

concuera con Stoker [35]; Miranda y Belmar [17]; Peña y Muñoz [19]; y Acosta y Kohashi [36], quienes mencionan que la falta de agua reduce la producción de vainas en *P. vulgaris* L. En plantas de frijol ayocote la falta de producción de vainas en todos los tratamientos pudo deberse a la falta de los polinizadores y no a la falta de agua. Esto junto con las altas temperaturas pudieron disminuir el número de vainas tirándolas, como lo mencionan Stobbe et al. [30], quienes concluyen que la temperatura junto al fotoperiodismo pueden estar actuando en el crecimiento reproductivo de manera negativa.

En cuanto al área foliar en plantas de frijol ejotero la disminución de agua provoca un área foliar menor, debido a la caída de hojas, aunque en el tratamiento del 75% esto tal vez no ocurra debido a que el área foliar mayor se vio estimulada y se retranslocó más eficientemente una recuperación hacia las vainas medianas y grandes, lo que no ocurrió en las plantas del testigo aunque no hubo diferencias significativas en el área foliar al 75% pero al 50% presentó una disminución respecto al testigo, ésta retranslocación de fotoasimilados hacia las estructuras vegetativas y algunas reproductivas como lo muestran los registros en la Tabla I. Esto coincide con Kramer [37]; Peña y Muñoz [19]; Acosta y Kohashi (1989) [36]; Núñez et al. [18]; Nielsen y Nelson [38]; Loggini et al. [39]; Kohashi et al. [22]; y Barrios et al. [40], dichos autores indican que en plantas de frijol común el estrés hídrico provoca una reducción en el área foliar. En plantas de ayocote se observó que el estrés hídrico afectó el área foliar en ambos tratamientos presentado diferencias significativas con respecto al testigo, efecto muy similar al encontrado en el ejotero.

En cuanto a la materia seca en el frijol ejotero en raíz presentaron diferencias significativas entre los tratamientos 75% (1.41 g) y 50% (0.72 g), con respecto al 100% (2.05 g), en contraste al frijol ayocote se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de estrés en la raíz al 75% (9.17 g) y 50% (2.08 g) de agua con respecto al 100% (14.84 g) mostrando una reducción en su volumen, éste resultado concuerda con estudios realizados por Hayward y Supurr [41]; Madueño et al. [42]; y Guzmán [23] que registraron que el efecto del estrés hídrico inhibía la actividad meristemática y como consecuencia la elongación y volumen de las raíces. Esto es probablemente lo que ocurrió en ambas especies, pues los datos así lo representan en las figuras 1A y 2A. En las plantas de ayocote, el tratamiento al 50% presentó un peso bajo, lo que denota que esta especie es sensible al déficit de agua.

En lo que concierne al peso seco del tallo en frijol ejotero, el tratamiento de 75% no presentó diferencias significativas con respecto al testigo, mientras que para el tratamiento al 50% fue significativo, sin embargo para el frijol ayocote en el tallo en ambos tratamientos (75 y 50% de agua) si hubo diferencia significativas con respecto al testigo (100% de agua). Para el peso seco en hojas el patrón fue similar al tallo en el frijol ejotero, así mismo para el frijol ayocote. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Kramer [37]; Loggini et al. [39]; Ludlow [43]; y Kohashi et al. [22], quienes llegan a la conclusión de que el estrés hídrico induce numerosas irregularidades metabólicas en las plantas, tales como: disminución de la tasa de crecimiento en el vástago y hojas. Por lo tanto, estas alteraciones son ocasionadas por el impacto que se tiene en la morfología y fisiología de las plantas, que van a depender del grado de tolerancia de los tejidos a la deshidratación, principalmente en las hojas por la superficie fotosintética y en la capacidad de acumular solutos y de esta manera se mantiene el contenido de agua necesaria para no verse afectada en cuanto a mecanismos de crecimiento.

Por consiguiente en cuanto a flores al peso seco total en frijol ejotero entre los tratamientos al 75% y 50% se encontraron diferencias significativas en relación al testigo, en comparación con el frijol ayocote en flores solo el testigo y el 75% no mostraron diferencias significativas, pero el 50% denoto la diferencia con respecto al testigo, en lo que concierne al peso seco en vainas hubo diferencias significativas en el tratamiento al 75% superando al testigo en frijol ejotero, en cuanto al frijol ayocote el

75 y 50% no superaron al testigo. Estos resultados demuestran lo señalado por Stoker [35]; Miranda y Belmar [17]; Acosta y Kohashi [36]; y Rainey y Griffiths [16], dichos autores afirman que el frijol es extremadamente sensible al estrés hídrico en las etapa reproductiva de la planta, en la formación del rendimiento, en el inicio de la floración, inicio de crecimiento de las vainas y llenado de grano en las áreas de secano; este tipo de estrés abiótico disminuye el rendimiento y calidad de la producción. Esto demuestra que el estrés hídrico en plantas de frijol Ayocote sí afecta la retranslocación de fotoasimilados disminuyendo el peso seco (g) de flores y vainas. Aunque se debe de aclarar que la baja producción de vainas también pudo deberse a la carencia de polinización.

En lo referente a la comparación del peso seco en los diferentes órganos de ambas especies el patrón fue similar y al parecer las plantas de *P. vulgaris* L. presentaron valores bajos en raíz, tallo, hoja y flor, pero no así en vainas donde la mayor producción fue en el tratamiento del 75%, esto puede deberse a que esta especie presenta autopolinización y además es sensible a la falta de agua, así lo muestra el tratamiento al 50% de agua (Figura 3E). Mientras que las plantas de frijol ayocote la retranslocación en vainas fue en decremento debido probablemente a que no se presentaron los polinizadores. Esto concuerda con Ludlow [43], quien menciona que la falta de agua afecta las estructuras a nivel de toda la planta en frijol común.

V. CONCLUSIONES

El estrés hídrico en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. no afectó el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas, excepto el tratamiento del 50% de agua. El 75% de agua estimuló el área foliar en plantas. En relación a la retranslocación de los fotoasimilados, los tratamientos afectaron todos los órganos vegetativos, pero no los órganos reproductivos. El estrés hídrico en plantas de *Phaseolus coccineus* L. afectó el número de hojas, ramas y estructuras reproductivas. El 75 y 50% de agua no influyeron en el área foliar en plantas. En cuanto a la retranslocación de fotoasimilados, los tratamientos afectaron todos los órganos de las plantas. A nivel de toda la planta la retranslocación afectó a todos los órganos de los tratamientos de *Phaseolus coccineus* L. y no así en *Phaseolus vulgaris* L.

REFERENCIAS

- [1] A. Delgado, "Variation, taxonomy, domestication and germplasm potentialities in *Phaseolus coccineus*", in: P. Geps (ed.), Genetic resources of *Phaseolus* beans, Kluwer Academic Publ. Dordrecht, 1985, pp. 441-463.
- [2] D.E. Acosta, "Morfología y fisiología de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de temporal bajo sequía", Colegio de Posgrados, México, 1994.
- [3] V.E. Solórzano, "El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Apuntes para el curso de producción de leguminosas de grano", UACH, Departamento de Fitotecnia, México, 1994.
- [4] F.A. Basurto, "Aspectos etnobotánicos de *Phaseolus coccineus* L. y *Phaseolus polyanthus* Greenman en la Sierra Norte de Puebla, México", Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 2000, 104 p.
- [5] P.F. Basurto, C.D. Martínez, V.A. Castellanos y M.A. Martínez, "Ciclo agrícola y fenología de *Phaseolus coccineus* L. en sistemas de agricultura tradicional en la Sierra Norte de Puebla", Etnoecológica, 1996, 3: 71-81.
- [6] S. Miranda, "Evolución de *Phaseolus vulgaris* L. y *P. coccineus* L.", en: M.E. Engleman, (ed.), Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, 1979, pp. 83-99.

- [7] M.M. Castillo, V.P. Ramírez, G.F. Castillo y C.S. Miranda, "Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol Ayocote del oriente del Estado de México", *Rev. Fitotec. Mex.*, 2006, 29:111-120.
- [8] A.S. Kristin, S.R. Rosales, P.F. Ibarra, E.B. Cazares, J.A. Acosta, V.P. Ramírez, N. Wassimi and J.D. Kelly, "Improving common bean performance under drought stress", *Crop Sci.*, 1997, 37: 43-50.
- [9] J.A. Acosta, y H.P. Pérez, "Situación del cultivo de frijol común en México. Producción e investigación". Programa de frijol, INIFAP, 1996.
- [10] SIAP, "Superficie cosechada y producción de frijol anual en México", Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2008, [Consultado el 12 de febrero de 2010]. Disponible en: <http://www.campomexicano.gob.mx/siacon>
- [11] I.R. Lépiz y S.J. Navarro, "Frijol en el Noroeste de México", SARH, México, 1983, pp. 1-6, 29-41.
- [12] E. Esquivel, J.A. Acosta, J. Ortiz, Ma. del C. Mendoza y S. Padilla, "Fenología y rendimiento de cuatro variedades de frijol en el altiplano central de México", INIFAP, México, 2004, pp. 19-27.
- [13] S.P. Singh, "Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean", *Crop Sci.*, 1995, 35: 118-124.
- [14] T.C. Hsiao, E. Acevedo, E. Fereres and D.W. Henderson, "Water stress, growth and osmotic adjustment", *Phyl. Trans. Royal Soc.*, London, 1976, 273: 479-500.
- [15] J.E. Begg and N.C. Turner, "Crop water deficits", *Adv. Agron.*, 1976, 28: 161-217.
- [16] K.M. Rainey and P.D. Griffiths, "Differential response of common bean genotypes to high temperature", *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2005, 130(1):18-23.
- [17] N.O. Miranda y N.C. Belmar, "Déficit hídrico y frecuencia de riego en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Agricultura Técnica*, 1977, 37(3): 111-117.
- [18] A. Núñez, J. Ritchie y A. Smucker, "El efecto de sequía en el crecimiento, la fotosíntesis y la intercepción de luz en frijol común", *Agronomía Mesoamericana*, 1998, 9(2): 1-8.
- [19] A. Peña y R. Muñoz, "Respuesta de tres especies cultivadas a condiciones deficientes de humedad edáfica", *Agronomía*, 1988, 74: 231-243.
- [20] O. Babalola, "Water relations of three cowpea cultivar *Vigna unguiculata* L.", *Plant and Soil*, 1980, 56(1):5969.
- [21] J. Elston and A.H. Bunting, "Water relations of legume crops", in: H.J. Summerfield and A.H. Bunting (eds.), *Advances in legume Science*. Royal Botanic Gardens, UK, 1980, pp. 37-42.
- [22] S. Kohashi, T. Galván, E. García, J. Yáñez, V. Martínez y P. Ruíz, "Estrés hídrico y su efecto en el crecimiento de los fitómeros del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Agric. Téc. Méx.*, 2002, 28(1): 65-75.
- [23] G. Guzmán, "Evaluación bajo condiciones controladas de estrés hídrico las diferencias fenotípicas del crecimiento y desarrollo de raíces de genotipos promisorios de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.)", Centro Experimental Campos Azules. Instituto de Nicaragua de Tecnología Agropecuaria, 2010.
- [24] INEGI, "Síntesis geográfica del estado de Puebla", Ed. INEGI, México, 2000.
- [25] S.E. Olivares, "Paquete de diseños experimentales FAUANL, versión 2.5", Facultad de Agronomía UANL, Marín, N.L., México, 1994.
- [26] O.J. Ayala, J.M. Richardo, J.A. Estrada, J.A. Carrillo y L.A. Hernández, "Rendimiento y calidad de semilla del frijol ayocote en el Valle de México", *Agric. Téc. Méx.*, 2006, 32(3): 313-321.

- [27] G.G. Bermúdez, "Efecto del estrés hídrico en el desarrollo y crecimiento de plantas de frijol (*Phaseolus coccineus* L.) bajo condiciones de invernadero", Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología, BUAP, 2009, 65 p.
- [28] R. Celis, C.B. Peña, M. Luna and J.R. Aguirre, "Seed morphological and reserves used during seedling emergency of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)", *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*, 2010, 27: 61-87.
- [29] P. Masaya y J.W. White, "Adaptation to photoperiod and temperature", in; A. Van Shoonhonen and O. Voysest (eds.), *Common beans: Research for crop improvement*, CIAT, Cali, Colombia, 1991, pp. 445-500.
- [30] E.L. Stobbe, D.P. Ormorod, and J.C. Woolley, "Blossoming and fruit set patterns in *Phaseolus vulgaris* L. as influenced by temperature", *Canadian Jour. Bot.*, 1966, 44: 813-819.
- [31] A.E. Hall, "Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea", *European Journal of Agronomy*, 2004, 21: 447-454.
- [32] Y. Gan, S.V. Angadi, H.W. Cutforth, D. Potts, V.V. Andagi and C.L. Donald, "Canola and mustard response to short periods of high temperature and water stress at different developmental stages", *Canadian Journal of Plant Science*, 2004, 84: 697-704.
- [33] L. Leport, N.C. Turner, S.L. Davies and K.H. Siddique, "Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought", *European Journal of Agronomy*, 2006, 24: 236-246.
- [34] L.R. Parsons, "Respuestas de la planta a la deficiencia de agua", en: M.N. Christiansen y Ch.F. Lewis (eds.), *Mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables*. Ed. Limusa, México, 1991, pp. 211-231.
- [35] R. Stoker, "Effect on dwarf beans of water stress at different phases of growth", *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 1974, 2: 13-15.
- [36] J.A. Acosta and S.J. Kohashi, "Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars", *Field Crops Res.*, 1989, 20: 81-93.
- [37] J.P. Kramer, "Water relations of plants", USA. Academic Press Inc., CA, 1983.
- [38] D.C. Nielsen and N.O. Nelson, "Black bean sensitivity to water stress at various growth stages", *Crop Sc.*, 1998, 38: 422-427
- [39] B. Loggini, A. Scartazza, E. Brugnoli y F. Navari, "Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought", *Plant Physiology*, 1999, 119: 1091-1099.
- [40] E.J. Barrios, C. López y J. Kohashi, "Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo "Flor de mayo"", *Agronomía Costarricense*, 2011, 35(1): 131-145.
- [41] H.E. Hayward y W.B. Supurr, "Effect of osmotic concentration of substrate on the entry of water into corn roots", *Botanical Gazette*, 1943, 105: 162-174.
- [42] A. Madueño, J.D. García, J. Martínez y C. Rubio, "Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* L. con diferentes potenciales osmóticos", *Terra Latinoamericana*, 2006, 24(2): 187-192.
- [43] M.M. Ludlow, "Strategies in response to water stress", in: H.K. Kreeb, H. Ritcher and T.M. Hickley (eds.), *Structural and functional response to environmental stresses: Water shortage*, The Hague, The Netherlands, Academic Press, 1989, pp. 269-281.