

BIOMASA Y RENDIMIENTO DE FRIJOL TIPO FLOR DE JUNIO BAJO RIEGO Y SEQUÍA*

BIOMASS AND YIELD OF COMMON BEAN FLOR DE JUNIO TYPE UNDER IRRIGATION AND WATER STRESS

Efraín Acosta-Díaz^{1§}, Mario Domingo Amador-Ramírez², José Saúl Padilla-Ramírez³, J. Patrocinio Gómez-Delgado⁴ y Heladio Valadez-Montoya⁴

¹Programa de Frijol, Campo Experimental General Terán, INIFAP. Apartado Postal 3. Km. 31, carretera Montemorelos-China. 67400 General Terán, Nuevo León, México.

²Campo Experimental Calera, INIFAP. ³Campo Experimental Pabellón, INIFAP. ⁴Unidad Académica de Agronomía, Universidad Autónoma de Zacatecas. [§]Autor para correspondencia: acostaefrain@yahoo.com.mx

RESUMEN

En el estado de Zacatecas, México se siembra un promedio anual de 200 000 ha de frijol tipo Flor de Junio con rendimiento de 315 kg ha⁻¹. El bajo rendimiento se debe a que el cultivo se realiza en secano y ocurre sequía intermitente. Se determinó el efecto del contenido de humedad en el suelo sobre la madurez, biomasa del vástago y de raíz, proporción raíz/vástago y rendimiento de cuatro genotipos de frijol. En 2002 se realizaron dos experimentos: uno en macetas de 3 kg en invernadero y otro en campo, en la Unidad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. En invernadero se evaluaron cuatro niveles de humedad en el suelo, uno sin sequía y tres niveles de sequía de moderada a severa como sigue: con riego durante el ciclo del cultivo (R) con reposición cada 12 h del 100% de agua evapotranspirada, sequía moderada (SM) con reposición del 75% del volumen de R, sequía severa reposición de 50% de R (SS) y sequía moderada durante la etapa vegetativa y sequía severa durante la etapa reproductiva (SMV+SSR). En campo se evaluaron dos niveles: secano (S) con la aportación pluvial y secano más riego (S+R) con la aportación pluvial más tres riegos. Los tratamientos de sequía tuvieron efecto negativo sobre las características determinadas. En invernadero con el tratamiento SMV+SSR la madurez se redujo en siete días, la biomasa del vástago en 26%, la del sistema radical en 44%, el rendimiento en 53% y la proporción raíz/vástago

aumentó con el nivel de sequía. En campo, los genotipos maduraron trece días antes en secano que en S+R y la biomasa del vástago y rendimiento resultaron 34 y 48% menor en secano en comparación con S+R. Con base en la reducción del rendimiento, el índice de susceptibilidad a sequía y la media geométrica, las líneas UAZ-FJ2 y UAZ-FJ3 resultaron resistentes a sequía.

Palabras claves: *Phaseolus vulgaris* L., índice de susceptibilidad a sequía, líneas mejoradas, media geométrica.

ABSTRACT

In the state of Zacatecas, Mexico 200 thousand ha of dry bean Flor de Junio class are annually sown, and its yield average is 315 kg ha⁻¹. This low yield is due to intermittent drought during the growing season. The objective was to determine the effect of different soil moisture levels on plant maturity, shoot and root dry weight per plant, root-shoot ratio and yield of four bean genotypes. In 2002, two trials were conducted; one under greenhouse conditions and the other in the field at the Unidad de Agronomía of the Universidad Autónoma de Zacatecas. In the greenhouse four soil moisture levels

* Recibido: Noviembre de 2005

Aceptado: Agosto de 2007

in 3 kg pots were evaluated; one without drought and three from moderate to severe stress: a) irrigated (R), 100% of the evapotranspired water was restituted every 12 h during the cycle, b) moderate drought (SM), 75% of the volume of R was restituted, c) severe drought (SS), 50% of the volume of R was restituted and d) moderate drought during the vegetative stage and severe drought during the reproductive stage (SMV+SSR). In the field, two treatments were tested: rainfed (S), depending on rainfall and rainfed plus supplemental irrigation (S+R), with rainfall, contribution and three irrigations as needed. The stress treatments affected negatively all traits in the genotypes in comparison with R and S+R treatments in greenhouse and field, respectively. In the greenhouse; in comparison to the control (R) the average reductions observed with the SMV+SSR treatment were: seven days to mature, 26% in shoot dry weight, 44% in root dry weight and 53% in yield. The negative effects increased accordingly to the drought level applied, except for root-shoot ratio, which increased with the stress. Under field conditions, the average reductions under the rainfed treatment (S) as compared to (S+R) were: 13 days for maturity, 34% in shoot dry weight and 48% in yield. On the basis of yield reduction, drought susceptibility index and geometric mean of yield, lines UAZ FJ 2 and UAZ FJ 3 resulted drought resistant.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., bred lines, drought susceptibility index, geometric mean.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Zacatecas, el frijol se siembra bajo condiciones de secano en tres regiones agro-ecológicas con diferente potencial productivo, determinado con base en información climática y de calidad de suelo. Estas regiones son: a) noroeste, clasificada como de alto potencial, b) centro, potencial medio y c) sureste, bajo potencial (Medina García *et al.*, 1990). En la región centro predomina la siembra de variedades de frijol del tipo Flor de Junio, clasificado como preferente en el mercado nacional. Estas variedades pertenecen a la raza Jalisco (Singh *et al.*, 1991), son de hábito de crecimiento indeterminado tipo III de guía corta, de ciclo intermedio a tardío y sensibles al fotoperíodo (White y Laing, 1989). En la región centro de Zacatecas se siembran 200 000 ha por año de frijol tipo Flor de

Junio, con un rendimiento promedio de 315 kg ha⁻¹ (Ortiz Valdez, 1998); de esta superficie, aproximadamente 90% se realiza en condiciones de secano durante el ciclo primavera-verano, en donde predomina la siembra de variedades criollas. Los suelos de la región son pobres en materia orgánica y elementos mayores; con régimen de precipitación deficiente y errático y sequía intermitente, la cual puede presentarse durante las etapas vegetativa y reproductiva del cultivo (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Acosta-Gallegos *et al.*, 1998).

En la región del Altiplano Semiárido de México, constituida por los estados de Zacatecas, Durango, Chihuahua y Aguascalientes, se han implementado dos estrategias para atenuar los efectos de sequía: una mediante la práctica del 'pileteo' para incrementar la captación de lluvia y mejorar las condiciones de humedad del suelo y otra a través del mejoramiento genético, cuya finalidad es la obtención de variedades resistentes a sequía. Como resultado de la segunda estrategia, se han desarrollado variedades de frijol de diferente tipo de grano, con alta expresión de rendimiento en condiciones de sequía (Acosta-Gallegos *et al.*, 1998; Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

La adaptación de las variedades de frijol al régimen de precipitación que prevalece en la región del Altiplano Semiárido, se debe a que poseen las características de plasticidad fenológica (Acosta-Gallegos *et al.*, 1996; Acosta-Díaz *et al.*, 2004), plasticidad morfológica (Acosta-Díaz *et al.*, 2004) y alta acumulación de biomasa (Rosales-Serna *et al.*, 2004; Padilla *et al.*, 2005), así como ajuste estomático (Rosales-Serna *et al.*, 2001; Acosta-Díaz *et al.*, 2004). Con respecto a la susceptibilidad del frijol a sequía en sus etapas de desarrollo, se ha determinado que la etapa reproductiva es la de mayor susceptibilidad, en la que se afecta en mayor proporción el rendimiento (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Nielsen y Nelson, 1998), debido a que en esta etapa se da la máxima demanda por asimilados (Laing *et al.*, 1984).

En México sólo existe una variedad registrada de frijol tipo Flor Junio: Flor de Junio Marcela (Castellanos *et al.*, 2003). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del contenido de humedad en el suelo en el rendimiento y otras características en cuatro genotipos de este tipo de frijol bajo diferentes condiciones de humedad en invernadero y de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad de prueba, manejo de cultivo y diseño experimental

Se realizaron dos experimentos simultáneos en 2002: uno en macetas en invernadero y otro en campo, en la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas, en Cieneguillas, Zacatecas, México ($22^{\circ} 44'N$, $102^{\circ} 41'O$ y 2200 msnm). El clima es templado seco, con una precipitación media anual de 350 mm (Medina García *et al.*, 1998). El suelo es Castañozem lúvico (FAO, 1989), con más de 1 m de profundidad, pH ligeramente alcalino (7.3) y pobre en materia orgánica (1.5%), de textura franca, contenido de humedad a capacidad de campo de 20.2 y 19.8% y de 10.9 y 10.7% a marchitez permanente en los estratos de 0-30 y 30-60 cm de profundidad, respectivamente.

En el experimento en invernadero (con cubierta de plástico calibre 400) se utilizaron macetas de 24 cm de diámetro con 3.0 kg de sustrato constituido por una mezcla de arena, suelo y tierra de hoja en proporción 3:2:1, respectivamente. Las macetas se cubrieron con plástico negro y se protegieron con papel aluminio para evitar la evaporación del suelo y se colocó una malla en el fondo para evitar la pérdida de suelo. Previo a la siembra se aplicó un riego con 1.0 L de agua por maceta el 28 de mayo de 2002; se sembró en tierra húmeda el 30 de mayo de 2002, se colocaron 2 semillas por maceta para conservar la plántula más vigorosa en la etapa de primera hoja trifoliada. Se fertilizó con la dosis 1-1-1 g de $N_2-P_2O_5-K_2O_5$ por maceta al momento de la siembra y 31 días después de la siembra. Se realizaron dos aplicaciones de agroquímicos, 21 de junio y 30 de junio, con la mezcla de gusatién y terramicina agrícola al 5% en dosis de 0.5 L y 250 mL ha^{-1} , diluida en 100 L de agua. El gusatién se aplicó para el control preventivo de la conchuela (*Epilachna varivestis*), diabrotíca (*Diabrotica spp.*) y chicharrita (*Empoasca kraemerii*); mientras que la terramicina se utilizó para el control preventivo de tizón común (*Xantomonas campestris* pv. *phaseoli*) y tizón del halo (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*).

Se evaluaron cuatro niveles de humedad en el suelo, uno con riego completo y tres con riego incompleto (sequía). Con riego completo (testigo), durante el ciclo del cultivo se repuso 100% del agua evapotranspirada cada 12 h o cuando el contenido de humedad en el suelo descendió

al 80% de capacidad de campo. En los tratamientos con riego incompleto o de sequía, el volumen de agua aplicado se determinó con base en el volumen aplicado al tratamiento R: a) se aplicó el equivalente al 75% del volumen que correspondió al tratamiento R durante todo el ciclo y se definió como sequía moderada (SM), b) se aplicó el equivalente al 50% de R durante todo el ciclo y se definió como sequía severa (SS), y c) se aplicó el 75% de R durante la etapa vegetativa más 50% de R durante la etapa reproductiva y se definió como sequía moderada durante la etapa vegetativa y severa durante la reproductiva (SMV+SSR). Los tratamientos anteriores se diseñaron con el propósito de representar los tipos de sequía intermitente que pueden ocurrir en la región del Altiplano Semiárido de México (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989).

En campo la siembra se realizó el 11 de junio de 2002 en tierra húmeda con la precipitación ocurrida, a 76 cm entre surcos y 10 cm entre plantas ($131\,578$ plantas ha^{-1}). Se fertilizó con la dosis $40-60-00$ kg ha^{-1} de $N_2-P_2O_5-K_2O_5$ al momento de la siembra (Pérez-Trujillo, 1998). Se realizaron dos escardas mecánicas a los 20 y 40 días después de la siembra para mantener el cultivo libre de malezas. Se efectuaron dos aplicaciones preventivas con los agroquímicos mencionados para evitar plagas y enfermedades.

En campo se evaluaron dos niveles de humedad en el suelo: a) secano (S), en el que la humedad aportada al suelo dependió completamente de la precipitación pluvial (Figura 1) y b) secano más riego (S+R), en éste el contenido de humedad en el suelo se mantuvo cercana al 70% de CC durante todo el ciclo del cultivo con la aportación pluvial y tres riegos de auxilio de 5 cm cada uno, aplicados considerando la humedad del suelo a los 22, 34 y 60 días después de la siembra.

En el experimento de invernadero se utilizó un diseño experimental completamente al azar y en el de campo de bloques completos al azar; el análisis de los datos se realizó bajo un arreglo factorial (tratamientos de humedad en el suelo y genotipos) con 4 repeticiones en ambos experimentos; el factor A lo constituyeron los tratamientos de humedad y el B los genotipos de frijol. En el experimento de invernadero la unidad experimental consistió en una maceta con una planta y en el campo cuatro surcos de 6 m de longitud.

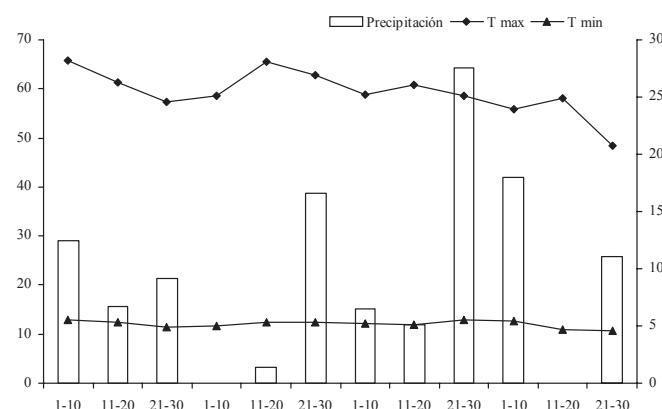


Figura 1. Precipitación acumulada y temperatura máxima y mínima en decenas durante el período de junio a septiembre. Cieneguillas, Zacatecas, México. 2002. La flecha del extremo izquierdo indica fecha de siembra y las otras tres fechas la aplicación de cada riego de auxilio.

Material genético

Se utilizaron cuatro genotipos de frijol de grano tipo Flor de Junio de hábito de crecimiento indeterminado tipo III, guía corta y ciclo intermedio (Singh *et al.*, 1991), tres de ellos son líneas mejoradas desarrolladas por selección individual a partir de 200 variedades criollas colectadas en la región centro del estado de Zacatecas, por el Programa de Mejoramiento Genético de Frijol de Temporal de la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas y el otro fue una variedad criolla (testigo) que se siembra ampliamente en la región centro de Zacatecas.

Madurez fisiológica

Los días a madurez fisiológica se definieron como los transcurridos desde la siembra hasta que 90% de las vainas, en 50% de las plantas, perdieron su pigmentación verde (Schoonhoven y Pastor-Corrales, 1987).

Biomasa del vástago y sistema radical, rendimiento de grano y relación raíz/vástago

Al momento de madurez fisiológica se determinó la biomasa del vástago y el rendimiento de grano en los dos experimentos, invernadero y campo; y la biomasa del sistema radical del experimento de invernadero en g/planta. Excepto por el grano, todas las partes colectadas se secaron a 70 °C en una estufa de circulación forzada hasta peso constante antes de determinar su peso. Para

facilitar la extracción de la raíz se aplicó una solución de 10 kg de sal común (NaCl) disuelta en 100 L de agua, posteriormente se eliminó el exceso de solución con papel absorbente. La proporción raíz/vástago fue el cociente entre el peso seco del sistema radical y peso seco del vástago.

Índice de cosecha, reducción de rendimiento, índice de susceptibilidad a sequía y media geométrica.

El índice de cosecha se calculó con la siguiente ecuación:

$$IC = (rg_i/rb_i) \times 100$$

donde:

rg_i = Rendimiento de grano del i -ésimo genotipo y

rb_i = Rendimiento de biomasa del i -ésimo genotipo (Schneider *et al.*, 1997; Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998).

La reducción del rendimiento se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Reducción} = [1 - (rs_i/rr_i)] \times 100$$

donde:

rs_i = Rendimiento de grano en los tratamientos de sequía para el i -ésimo genotipo y

rr_i = Rendimiento de grano en el tratamiento de riego para el i -ésimo genotipo

El índice de susceptibilidad a sequía se calculó con la siguiente ecuación (Fisher y Maurer, 1978):

$$ISS = [1 - (rs_i/rr_i)] / IIS$$

donde:

rs_i = Rendimiento de grano en los tratamientos de sequía para el i -ésimo genotipo,

rr_i = Rendimiento de grano en el tratamiento de riego para el i -ésimo genotipo y

IIS es el Índice de Intensidad de Sequía. Este último se calculó con la siguiente expresión:

$$IIS = (Rs/Rr) \times 100$$

donde:

Rs = Rendimiento promedio de grano de los genotipos en los tratamientos de sequía y

Rr = Rendimiento promedio de grano de los genotipos en riego.

La media geométrica se calculó con la expresión propuesta por Fisher y Maurer (1978):

$$MG = (rs_i \times rr_i)^{1/2}$$

donde:

rs_i = Rendimiento de grano en los tratamientos de sequía del i-ésimo genotipo y

rr_i = Rendimiento de grano en riego del i-ésimo genotipo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fenológicas

Se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos de humedad para los días a madurez fisiológica, tanto en el experimento de invernadero como en el de campo (datos no presentados). Lo anterior indica que esta característica respondió a las condiciones de humedad que se establecieron durante el desarrollo del

cultivo. En general, los tratamientos de sequía y el de secano disminuyeron los días a madurez fisiológica con respecto al tratamiento de riego, con mayor disminución en condiciones de campo que en invernadero, debido a que el ciclo del cultivo de los genotipos fue más prolongado en campo (Cuadro 1).

Bajo condiciones de invernadero, la reducción en los días a madurez fisiológica fue mayor en el testigo que en las líneas mejoradas. Respuesta que se observó en el tratamiento de SMV+SSR, ya que no existieron las condiciones favorables para la recuperación de los genotipos. La mayor reducción en los días a madurez fisiológica inducida por el tratamiento de SMV+SSR se observó en las líneas UAZ FJ 2 y UAZ FJ 10, mientras que en campo, el testigo y la línea UAZ FJ 3 mostraron la mayor reducción. Estos resultados son similares a los obtenidos en otras investigaciones realizadas con genotipos diferentes sometidos a estrés hídrico (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Acosta-Díaz *et al.*, 1997; Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998; Acosta-Gallegos y Rosales-Serna *et al.*, 2001; Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

Los resultados observados sugieren que las líneas mejoradas poseen entre otras características, plasticidad fenológica, atributo que se encuentra en la mayoría de las variedades de frijol sembradas en la región del Altiplano Semiárido de México (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Acosta-Gallegos *et al.*, 1996). En esta región se ha observado que los días para alcanzar la madurez fisiológica de las variedades mejoradas se reducen considerablemente por efecto de sequía intermitente y del fotoperíodo que va disminuyendo conforme avanza el ciclo (Acosta-Gallegos *et al.*, 1988 y Rosales-Serna *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Días a madurez fisiológica de cuatro genotipos de frijol clase Flor de Junio en diferentes tratamientos de humedad, en condiciones de invernadero y campo. Cieneguillas, Zacatecas, México. 2002.

Genotipo	DMF Invernadero			DMF Campo		
	R	SM	SS	SMV + SSR	S+R	S
UAZ FJ 2	99	97	94	92	105	96
UAZ FJ 3	95	93	91	88	110	95
UAZ FJ 10	98	95	94	89	108	95
Variedad criolla (t)	98	94	93	89	112	95
Media	97	94	93	89	108	95
DMS (0.05)	8.19	1.98	8.05	2.33	2.55	1.10

DMF= Días a madurez fisiológica; R= Riego; SM= Sequía moderada; SS= Sequía severa; SMV+SSR= Sequía moderada durante la etapa vegetativa y sequía severa durante la etapa reproductiva; S= secano; S+R= Secano más 3 riegos; (t)= Testigo; DMS (0.05)= 4.51 entre tratamientos de humedad en invernadero y 1.60 en campo; DMS (0.05)= 7.43 para la interacción tratamiento de humedad x genotipo en invernadero y 2.63 en campo.

Biomasa del vástago

Se detectó diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos de humedad, los genotipos y para la interacción tratamiento de humedad x genotipo para la producción de biomasa del vástago en condiciones de campo (datos no presentados). En general, la sequía disminuyó la acumulación de peso seco del vástago sólo en el tratamiento SMV+SSR bajo condiciones de invernadero en comparación con el tratamiento de R y en el tratamiento de S bajo condiciones de campo, en comparación con el tratamiento de S+R. La reducción promedio de los genotipos fue 26% con el tratamiento SMV+SSR bajo condiciones de invernadero y 34% con el tratamiento S bajo condiciones de campo (Cuadro 2). La significancia estadística observada en la interacción tratamiento de humedad x genotipo para la biomasa del vástago bajo condiciones de campo, indica que los genotipos presentaron diferente respuesta a los tratamientos de humedad en el suelo. Bajo condiciones de invernadero, los genotipos con mayor producción de biomasa del vástago fueron: la línea UAZ FJ 10 en R; las líneas UAZ FJ 2, UAZ FJ 3 y UAZ FJ 10 en SM y SS; la línea UAZ FJ 10 y la variedad criolla en SMV+SSR; y bajo condiciones de campo, la línea UAZ FJ 3 y la variedad criolla en S+R; y las tres líneas mejoradas en S.

comparación con los testigos R y S+R, respectivamente (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los reportados para otros tratamientos de sequía, tanto en condiciones de invernadero (Acosta-Díaz *et al.*, 1997 y 2004) como de campo (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989). Los resultados sugieren que la adaptación de los genotipos a las condiciones de sequía intermitente se debe, en parte, a la acumulación de biomasa en el vástago, la cual puede ser un criterio indirecto de selección para el rendimiento de grano en frijol bajo condiciones de temporal (Rosales-Serna *et al.*, 2004; Acosta-Díaz *et al.*, 2004; Padilla-Ramírez *et al.*, 2005).

Biomasa del sistema radical

Para la producción de biomasa del sistema radical, no se observaron diferencias entre tratamientos de humedad, genotipos e interacción en el experimento de invernadero (datos no presentados). Sin embargo, el peso promedio del sistema radical de los genotipos registró disminución considerable por efecto de los tratamientos de sequía, con respecto al testigo, la cual fue de 29% en el tratamiento de SM, 33% en el tratamiento de SS y 44% en SMV+SSR (Cuadro 3). La ausencia de diferencias significativas entre

Cuadro 2. Peso seco del vástago de cuatro genotipos de frijol tipo Flor de Junio en diferentes tratamientos de humedad, bajo condiciones de invernadero y de campo. Cieneguillas, Zacatecas, México. 2002.

Genotipo	Invernadero (g/planta)			Campo (g m ⁻²)		
	R	SM	SS	SMV+SSR	S+R	S
UAZ FJ 2	2.24	3.36	3.66	1.61	342.92	241.05
UAZ FJ 3	2.51	3.59	3.52	1.98	387.36	253.38
UAZ FJ 10	3.66	3.40	3.24	2.28	346.54	249.07
Variedad criolla (t)	2.63	3.07	3.00	2.29	396.41	222.30
Media	2.76	3.35	3.35	2.04	368.30	241.45
DMS (0.05)	0.33	0.47	0.69	0.76	77.51	47.32

R= Riego; SM= Sequía moderada; SS= Sequía severa; SMV+SSR= Sequía moderada durante la etapa vegetativa más sequía severa durante la etapa reproductiva; S+R= Secano mas tres riegos de auxilio; S= Secano; (t)= Testigo DMS (0.05)= 1.09 entre tratamientos de humedad en invernadero y 54.92 en campo; DMS (0.05)= 3.26 para la interacción tratamiento humedad x genotipo en invernadero y 90.49 en campo.

En lo que respecta al efecto de los tratamientos de humedad sobre la producción de biomasa del vástago, los genotipos presentaron una respuesta diferencial. La mayor producción se observó en las tres líneas mejoradas con el tratamiento SMV+SSR bajo condiciones de invernadero y en la variedad criolla en el tratamiento S bajo condiciones de campo, en

tratamientos, a pesar de las marcadas diferencias entre tratamientos de sequía y el de riego, sugiere la necesidad de un mayor número de repeticiones para disminuir el error experimental. En general, las reducciones en peso de la raíz fueron proporcionalmente más altas que las correspondientes al peso del vástago, lo que indica que la biomasa del sistema

Cuadro 3. Peso seco del sistema radical (g/planta) de cuatro genotipos de frijol tipo Flor de Junio establecidos en cuatro tratamientos de humedad, bajo condiciones de invernadero. Cieneguillas, Zacatecas, México. 2002.

Genotipo	R	SM	SS	SMV+SSR	Media
UAZ FJ 2	2.96	1.36	1.53	1.20	1.76
UAZ FJ 3	1.66	1.60	1.50	1.50	1.56
UAZ FJ 10	2.40	1.90	1.50	1.16	1.74
Variedad criolla (t)	1.96	1.53	1.43	1.16	1.52
Media	2.24	1.59	1.49	1.25	1.64
DMS (0.05)	0.23	0.21	0.29	0.55	

R= Riego; SM= Sequía moderada; SS= Sequía severa; SMV+SSR= Sequía moderada durante la etapa vegetativa más sequía severa durante la etapa reproductiva; (t)= Testigo; DMS (0.05)= 0.28 entre tratamientos de humedad y 0.46 para la interacción tratamiento de humedad x genotipo.

radical fue más sensible que la biomasa del vástago a los tratamientos de sequía. Este resultado difiere con lo observado en otros genotipos sometidos a condiciones diferentes de sequía (Acosta-Díaz *et al.*, 2004). Lo anterior, podría atribuirse a ajustes en la relación fuente-demanda (D'Souza y Coulson, 1988), y a que el crecimiento del sistema radical se reduce o se detiene a partir de que la planta inicia la fase reproductiva (Kuruvadi y Aguilera, 1990; Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998).

Proporción raíz/vástago

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la interacción tratamiento de humedad x genotipo para la proporción peso seco de raíz sobre peso seco del vástago (datos no presentados). La proporción raíz/vástago varió en función del nivel de sequía y la etapa de crecimiento en que se aplicó. En general, el peso seco del sistema radical fue menor que el del vástago en los cuatro genotipos de frijol evaluados; consecuentemente, la proporción fue menor de la unidad. Los valores de la proporción raíz/vástago fueron significativamente mayores en los tratamientos de sequía que en los de riego. No obstante que no se observaron diferencias significativas entre genotipos para esta característica, se registró un incremento de 42% en el tratamiento de SMV+SSR en comparación con el testigo R (Cuadro 4). Este incremento se debió a la aportación de la línea UAZ FJ 3 y la variedad criolla. Resultados similares han sido reportados en frijol bajo condiciones de invernadero (López *et al.*, 1987; Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

Cuadro 4. Proporción raíz/vástago en cuatro genotipos de frijol tipo Flor de Junio establecidos en cuatro tratamientos de humedad, bajo condiciones de invernadero. Cieneguillas, Zacatecas, México. 2002.

Genotipo	R	SM	SS	SMV+SSR	Media
UAZ FJ 2	0.174	0.103	0.145	0.124	0.136
UAZ FJ 3	0.106	0.135	0.128	0.164	0.133
UAZ FJ 10	0.132	0.164	0.140	0.141	0.144
Variedad criolla (t)	0.117	0.132	0.134	0.153	0.134
Media	0.132	0.133	0.136	0.145	0.136
DMS (0.05)	0.026	0.026	0.018	0.038	

R= Riego; SM= Sequía moderada; SS= Sequía severa; SMV+SSR= Sequía moderada durante la etapa vegetativa más sequía severa durante la etapa reproductiva; (t)= Testigo; DMS (0.05)= 0.023 entre tratamientos de humedad y 0.039 para la interacción tratamiento de humedad x genotipo.

Se observó respuesta diferencial entre los genotipos para la proporción raíz/vástago. Los valores más altos se observaron en las líneas UAZ FJ 2 y UAZ FJ 10 en los tratamientos de R y SS, en las líneas UAZ FJ 10 y UAZ FJ 3 con SM, en la línea UAZ FJ 3 y la variedad criolla con SMV+SSR (Cuadro 4). Los genotipos mostraron cambios y ajustes en proporción entre peso seco del sistema radical y el vástago, así como en la relación fuente-demanda, de tal manera que la raíz con mayor desarrollo podría contribuir a mayor capacidad de exploración del suelo. Sobre este tema, D'Souza y Coulson (1988) reportaron que el crecimiento del sistema radical del frijol se incrementó en condiciones de sequía impuesta antes de la floración, éste se detuvo en la floración y se redujo después de la floración.

Rendimiento de grano

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos de humedad en el ensayo de invernadero y entre genotipos en campo, así como diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la interacción tratamientos de humedad x genotipo en campo (datos no presentados). En invernadero, los tratamientos de sequía redujeron significativamente el rendimiento promedio de los genotipos con respecto al testigo, 41% en el tratamiento SM, 46% en SS y 52% en SMV+SSR; en condiciones de campo, fue de 48% en el tratamiento S (Cuadro 5). Los porcentajes en que se redujo el rendimiento representan el índice de intensidad de sequía (IIS) al que fueron sometidos los genotipos. Los valores de IIS obtenidos bajo condiciones de invernadero fueron menores que los reportados en otros trabajos realizados

bajo sequía controlada: IIS=0.63 (Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). En contraste, el IIS observado bajo condiciones de campo fue similar a los reportados bajo condiciones de sequía intermitente en el Altiplano Semiárido de México; IIS= 0.49 por Schneider *et al.* (1997) y 0.48 y 0.49 por Rosales-Serna *et al.* (2004).

Cuadro 5. Rendimiento de grano de cuatro genotipos de frijol tipo Flor de Junio en diferentes tratamientos de humedad, bajo condiciones de invernadero y de campo. Cieneguillas, Zacatecas, México. 2002.

Genotipo	Invernadero (g/planta)			Campo (g m ⁻²)		
	R	SM	SS	SMV+SSR	S+R	S
Línea UAZ FJ 2	14.70	9.73	6.83	8.06	368.45	193.80
Línea UAZ FJ 3	13.13	8.23	8.13	7.13	343.47	187.66
Línea UAZ FJ 10	14.50	8.13	7.43	5.90	353.34	177.77
Variedad criolla (t)	14.10	8.50	7.66	5.26	358.00	168.75
Media	14.10	8.64	7.51	6.58	355.81	181.99
Reducción (%)		38	46	53		48
DMS (0.05)	3.31	1.57	1.62	1.53	26.75	18.64

R= Riego; SM= Sequía moderada; SS= Sequía severa; SMV+SSR= Sequía moderada durante la etapa vegetativa más sequía severa durante la etapa reproductiva; S= Secano; (t)= Testigo; DMS (0.05)= 1.76 entre tratamientos de humedad en invernadero y 19.70 en campo; DMS (0.05)= 2.90 para la interacción tratamiento humedad x genotipo en invernadero y 32.46 en campo.

Algunas líneas superaron en los diferentes tratamientos a la variedad criolla en rendimiento, entre las cuales están: UAZ FJ 2 y UAZ FJ 10 en R, UAZ FJ 2 en SM, UAZ FJ 3 en SS y UAZ FJ 2 y UAZ FJ 3 en SMV+SSR, bajo condiciones de invernadero y UAZ FJ 2 en S+R y UAZ FJ 2 y UAZ FJ 3, en S, bajo condiciones de campo (Cuadro 5). Es importante señalar que la línea UAZ FJ 2 mostró alto potencial de producción con y sin estrés hídrico, en invernadero y campo. En general, existen fuentes de resistencia a sequía en la raza Jalisco, las cuales pueden incorporarse a las razas Durango y Mesoamericana (Acosta-Gallegos *et al.*, 1998; Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

Índice de cosecha, reducción de rendimiento, índice de susceptibilidad a sequía y media geométrica

Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos de humedad para el índice de cosecha en los dos experimentos (datos no presentados). En general ocurrió disminución en el índice de cosecha de los genotipos con respecto al testigo en los tratamientos de sequía (Cuadro 6). Los genotipos que mostraron mayor índice de cosecha en tratamientos de sequía, fueron: línea UAZ FJ 2 en SM, la variedad criolla, y las líneas UAZ FJ 3 y UAZ FJ 10

en SS; las líneas UAZ FJ 2 y UAZ FJ 3 en SMV+SSR, bajo condiciones de invernadero y la UAZ FJ 2 en S en condiciones de campo. Lo anterior, se debió en parte, a la aceleración de la madurez fisiológica en los tratamientos de sequía acoplada a alta capacidad de removilizar asimilados, de acuerdo con Acosta-Díaz *et al.* (2004).

Con base en los resultados obtenidos en cuanto a reducción de rendimiento, índice de susceptibilidad a sequía y la media geométrica se identificaron como resistentes a sequía las líneas UAZ FJ 2 y UAZ FJ 3, tanto en condiciones de invernadero como de campo (Cuadro 6). En contraste, con la utilización individual de los parámetros anteriores se observó una respuesta diferencial entre los genotipos a los tratamientos de sequía. Con los valores de reducción de rendimiento e índice de susceptibilidad a sequía, se determinó que las líneas UAZ FJ 2 y UAZ FJ 3 en SMV+SSR bajo condiciones de invernadero y en S bajo condiciones de campo, y línea UAZ FJ 3, en SM bajo condiciones de invernadero, fueron superiores al testigo. Los genotipos con los valores más altos en la media geométrica fueron: línea UAZ FJ 2 en SM bajo condiciones de invernadero y líneas UAZ FJ 2 y UAZ FJ 3, en SMV+SSR bajo condiciones de invernadero y en S, bajo condiciones de campo. Lo anterior podría atribuirse a la alta acumulación de materia seca en el vástago y el alto rendimiento que mostraron en el tratamiento de riego. Resultados similares se han consignado entre genotipos de frijol de diferentes orígenes y acervos genéticos en condiciones de sequía terminal (Acosta-Díaz *et al.*, 2004).

Cuadro 6. Índice de cosecha, reducción de rendimiento, índice de susceptibilidad a sequía y media geométrica de cuatro genotipos de frijol tipo Flor de Junio en cuatro tratamientos de humedad, bajo condiciones de invernadero y campo. Cieneguillas, Zacatecas, México. 2002.

Genotipo	Invernadero			Campo
	SM	SS	SMV+SSR	S
Índice de cosecha (%)				
Línea UAZ FJ 2	67	56	74	45
Línea UAZ FJ 3	61	61	67	44
Línea UAZ FJ 10	60	61	63	42
Variedad criolla (t)	64	63	60	43
Media	63	60	66	43
DMS (0.05)	19.32	20.16	16.90	4.25
Reducción de rendimiento (%)				
Línea UAZ FJ 2	34	53	45	48
Línea UAZ FJ 3	37	38	46	45
Línea UAZ FJ 10	44	49	59	50
Variedad criolla (t)	40	46	63	52
Media	39	46	53	49
Índice de susceptibilidad a sequía				
Línea UAZ FJ 2	0.83	1.17	0.86	0.96
Línea UAZ FJ 3	0.90	0.83	0.88	0.90
Línea UAZ FJ 10	1.07	1.06	1.13	1.00
Variedad criolla (t)	0.97	1.00	1.21	1.04
Media	0.94	1.01	1.02	0.97
Media geométrica				
Línea UAZ FJ 2	11.96	10.02	10.88	267
Línea UAZ FJ 3	10.39	10.33	9.67	259
Línea UAZ FJ 10	10.86	10.38	9.25	257
Variedad criolla (t)	10.95	10.39	8.61	246
Media	11.04	10.28	9.60	257

SM= Sequía moderada; SS= Sequía severa; SMV+SSR= Sequía moderada durante la etapa vegetativa más sequía severa durante la etapa reproductiva; S= Secano; (t)= Testigo.

CONCLUSIONES

Los tratamientos de sequía redujeron el ciclo del cultivo de los cuatro genotipos en comparación con el tratamiento de riego bajo condiciones de invernadero y de campo. La reducción fue mayor en condiciones de campo.

Bajo condiciones de invernadero, la producción promedio de biomasa del sistema radical fue mayor que la del vástago en los tratamientos de sequía.

Las líneas UAZ FJ 2 y UAZ FJ 3 fueron las más resistentes a sequía bajo las dos condiciones de cultivo, de acuerdo con la reducción de rendimiento, índice de susceptibilidad a sequía y media geométrica.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz, E.; Kohashi-Shibata, J. y Acosta-Gallegos, J. A. 1997. Rendimiento y sus componentes en frijol bajo condiciones de sequía. Agric. Téc. Méx. 23(2):139-50.
- Acosta-Díaz, E.; Trejo-López., C.; Ruiz-Posadas, L. del M.; Padilla-Ramírez, J. S. y Acosta-Gallegos, J. A. 2004. Adaptación del frijol a sequía en la etapa reproductiva. Terra Latinoamericana 22:49-58.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Kohashi-Shibata, J. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) 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. (Cambridge). 117:213-219.
- Acosta-Gallegos, J. A.; Vargas V., P. and White, J. W. 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.
- Acosta-Gallegos, J. A.; Acosta-Díaz, E.; Padilla-Ramírez, S.; López-Salinas, E.; Salinas-Pérez, R. A.; Mayek-Pérez, N. and Kelly, D. J. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 41:151-152.
- Castellanos-Ramos, J. Z., Guzmán-Maldonado, S. H.; Acosta-Gallegos, J. A. and Kelly, J. D. 2003. Registration of Flor de Junio Marcela bean cultivar. Crop Sci. 43:1121-1122
- D'Souza, H. A., and Coulson C. L., 1988. Dry matter and its partitioning in two cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. under different watering regimes. Trop. Agric. (Trinidad) 65:179-181.
- Food and Agricultural Organization FAO. 1989. Carte mondiale des sols. Légende Révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde 60. FAO-UNESCO. Rome, Italie.
- Fisher, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yields responses. Aust. J. Agric. Res. 29:897-912.
- Kuruvadi, S. y Aguilera, D. M. 1990. Patrones del sistema radical en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba, Costa Rica. 40(4):491-498.
- Laing, D. R.; Jones, P. G. and Davies, J. H. C. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris*). (107-153) Ludlow, M. M. and Muchow, R. C. In: Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation Adv. Agron. p. 43.
- López, M.; Fernández, F. y A. van Schoonhoven. 1985. Frijol: Investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- López N., F.; Oliva, M. A.; Gomes de S., M. M.; de Souza, V. F. and Cardoso, M. J. 1987. Growth morphology assimilate partitioning and dry matter production of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants under three light levels and two water regimes. Rev. Ceres 34:110-124.
- Medina García, G.; Ruiz Corral, J. A. y Martínez Parra, R. A. 1998. Los climas de México. Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Secretaría de Ganadería y Agricultura. Guadalajara, Jalisco, México. 103 p. (Libro Técnico Núm. 1).
- Nielsen, D. C. and Nelson, N. O. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. Crop Sci. 38:422-427.
- Ortiz Valdes, M. 1998. El frijol en el estado de Zacatecas. Gobierno del estado de Zacatecas. 181 p.
- Padilla-Ramírez, J. S.; Acosta-Díaz, E.; Gaytán-Bautista, R. y Rodríguez-Moreno, V. M. 2005. Índice de área foliar en frijol de temporal y su relación con biomasa y rendimiento. Agric. Téc. Méx. 31 (2):213-219.
- Pérez-Trujillo, H. 1998. Guía para cultivar frijol en el estado de Zacatecas. Secretaría de Ganadería y Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Calera. 40 p. (Folleto para productores Núm. 1).
- Ramírez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. Euphytica 99:127-136.
- Rosales-Serna, R.; Ochoa Márquez, R. y Acosta-Gallegos, J. A. 2001. Fenología y rendimiento del frijol en el altiplano de México y su respuesta al fotoperiodo. Agrociencia 35(5):513-523.
- Rosales-Serna, R.; Kohashi-Shibata, J.; Acosta-Gallegos, J. A.; Trejo-López, C.; Ortiz-Cereceres, J. and Kelly, J. D. 2004. Biomasa distribution, maturity acceleration and yield in drought-stress common bean cultivars. Field Crop Res. 85:203-211.
- Schneider, A. K.; Rosales-Serna, R.; Ibarra-Pérez, F; Cázares-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.
- Singh P., S.; Gepts, P. and Debouck, G.D. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. Fabaceae). Econ. Bot. 45:379-396.
- Schoonhoven, A. van y Pastor-Corrales, M. A. 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 57 p.
- White, J. W., and Laing, D. R. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris*). Field Crops Res. 22:113-128.