

EFFECTO DEL RIEGO SUPLEMENTARIO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y GRANO DE FRIJOL DE TEMPORAL EN ZACATECAS, MÉXICO*

EFFECT OF SUPPLEMENTAL IRRIGATION ON BIOMASS AND SEED YIELD OF RAINFED DRY BEAN IN HIGHLANDS OF MEXICO

Efraín Acosta-Díaz¹, Jorge Alberto Acosta-Gallegos^{2§}, Mario Domingo Amador-Ramírez³ y José Saúl Padilla-Ramírez⁴

¹Programa de Frijol, Campo Experimental General Terán, INIFAP. A. P. 3, 67400, General Terán, Nuevo León, México. Tel. 01 826 2670260, (acostaefrain@yahoo.com.mx). ²Campo Experimental Bajío, INIFAP. A. P. 112, 38110, Celaya, Guanajuato, México Tel. 01 461 6115323 Ext. 200, (jamk@prodigy.net.mx). ³Campo Experimental Calera, INIFAP. A. P. 18, 98500, Calera de V. Rosales, Zacatecas, México. Tel. 01 478 9850198, (amadorm@inifapzac.sagarpa.gob.mx). ⁴Campo Experimental Pabellón, INIFAP. A. P. 20, 26200, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. Tel. 01 465 9580167, (jsaulpr@yahoo.com). [§]Autor para correspondencia: acosta.jorge@inifap.gob.mx.

RESUMEN

En el Altiplano semiárido del Norte-Centro de México, el problema de la escasez de agua para la producción agrícola es importante, sobre todo si se considera que hay un fuerte abatimiento anual de los mantos freáticos de dos m en promedio y los almacenamientos en presas son limitados. Por lo anterior, la optimización del agua de riego en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en siembras de temporal es esencial a través del riego suplementario en etapas críticas del cultivo. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del riego suplementario sobre la acumulación de biomasa del vástago y el rendimiento en variedades mejoradas de frijol de temporal con diferente tipo de grano. Se establecieron dos experimentos, uno con nueve variedades de grano negro y en otro 14 de grano claro, todas de hábito de crecimiento indeterminado tipo III, en el Campo Experimental Calera, Zacatecas, México, en 2001. Los experimentos se condujeron con dos tratamientos de humedad del suelo: 1) temporal + riego suplementario, y 2) temporal. En el tratamiento de temporal + riego suplementario, el suelo se mantuvo por encima de 50% de humedad aprovechable durante el ciclo del cultivo, mediante la precipitación y dos riegos de auxilio (uno antes

y otro en plena floración), mientras que en el tratamiento de temporal la humedad dependió de la precipitación ocurrida durante el ciclo del cultivo. En los dos experimentos, en el tratamiento de temporal + más riego suplementario la acumulación de biomasa del vástago y el rendimiento de grano fue significativamente superior ($p \leq 0.01$) que en el tratamiento de temporal. En general, el efecto del tratamiento de temporal más riego suplementario sobre el peso seco del vástago y el rendimiento de grano fue mayor en las variedades mejoradas de frijol de grano negro, que también fueron significativamente más tardías ($p < 0.05$). Se observó una respuesta diferencial de las variedades para la biomasa del vástago y rendimiento de grano, en donde las de mayor rendimiento fueron: de color negro, Negro Zacatecas, Negro Ontiveros y Negro Z524, de la raza Mesoamericana y de color claro, Pinto Villa y Bayo Zacatecas de la raza Durango, y Flor de Mayo Sol y Manzano, de la raza Jalisco. De acuerdo al índice de eficiencia relativa y la media geométrica las variedades más eficientes para la producción de rendimiento de grano bajo ambas condiciones de humedad fueron: Negro Zacatecas, Negro Z524, Negro Ontiveros, Manzano, Flor

* Recibido: Diciembre, 2007
Aceptado: Febrero, 2009

de Mayo Sol y Bayo Zacatecas; sin excepción, todas las variedades eficientes fueron desarrolladas en la localidad de prueba, lo que demuestra la importancia de la adaptación local en condiciones de temporal.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., color de grano, índice de eficiencia relativa, variedades mejoradas.

ABSTRACT

In the semiarid highlands of North-Central Mexico, the lack of water for agricultural production is an important problem, particularly since annually a depletion of two m in the water mirror of local wells is taking place and the water storage capacity in dams is limited. Because of the above situation, the optimization of water resources through supplemental irrigation in critical stages of bean sown under rainfed conditions is important. The aim of the present research was to determine the effect of supplemental irrigation on shoot biomass accumulation and seed yield in two sets of improved cultivars with different seed type. Two experiments were established at CEZAC Experiment Station in Zacatecas, Mexico in 2001; nine black-seeded cultivars were evaluated in one trial, and 14 seed colored cultivars in a second one. All cultivars are of the type III indeterminate growth habit. Two soil moisture levels were utilized: 1) rainfall plus supplemental irrigation and 2) natural rainfall conditions. The rainfall plus supplemental irrigation treatment consisted of maintaining the available soil moisture above 50% throughout the crop-growing season, which was achieved by rainfall plus two irrigations, one at pre- and the second at the flowering stages. The natural rainfall treatment depended only on the rainfall occurred during the growing season. In both experiments, average shoot biomass accumulation and seed yield of the rainfall plus supplemental irrigation were significantly higher ($p < 0.01$) than those in the rainfall treatment. In general, black seeded cultivars, that were significantly later to mature ($p < 0.05$), showed higher shoot dry weight and seed yield in response to the treatment rainfed+supplemental irrigation than the colored cultivars. There was a differential response of the cultivars to the moisture treatments; outstanding black seeded cultivars were Negro Zacatecas, Negro Ontiveros and Negro Z524 from the Mesoamerican race, while among seed colored cultivars Pinto Villa and Bayo Zacatecas from the Durango race and Flor de Mayo Sol and Manzano from the Jalisco race showed high seed yield. Based on the relative efficiency index and geometric mean, the most

efficient cultivars in terms of seed yield, average from both moisture treatments, were: Negro Zacatecas, Negro Z524, Negro Ontiveros, Manzano, Flor de Mayo Sol and Bayo Zacatecas; without exception all these efficient cultivars were locally developed, which indicates the importance of local adaptation under moisture stress.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., bred cultivars, seed color, relative efficiency index.

INTRODUCCIÓN

En México, alrededor de 15% de frijol se cultiva en condiciones de riego durante el ciclo del cultivo de otoño-invierno en diversas regiones del país, entre ellas, la del Altiplano Semiárido, en donde el estado de Zacatecas destaca por su superficie cosechada de 50 000 ha, con un rendimiento promedio de 1 845 kg ha⁻¹ (SAGARPA, 2006). En este sistema de producción el problema principal para el cultivo de frijol es la escasez de agua, sobre todo si se considera que actualmente existe un fuerte abatimiento de los mantos freáticos en promedio de 2 m/año y los almacenamientos de las presas es limitado (Esquivel Villagrana *et al.*, 2003). En este sistema de producción, los costos del cultivo son altos, debido entre otras causas, a los costos por concepto de energía eléctrica para la extracción y conducción del agua de riego. En estas condiciones de cultivo, la búsqueda de variedades de frijol con una respuesta al suministro del riego suplementario es de gran importancia. Otras complicaciones que surgen en frijol bajo riego sembrado en abril se deben a características tales como: sensibilidad al fotoperíodo y plasticidad fenológica que presentan algunos genotipos en respuesta a la duración del día, la temperatura (Acosta-Gallegos y White, 1995).

En contraste, en el sistema de producción de temporal el rendimiento promedio del frijol es de 450 kg ha⁻¹, ya que el cultivo se desarrolla con un régimen de precipitación deficitario y errático, registrándose con frecuencia períodos de sequía intermitente, la cual puede ocurrir en cualquiera de las etapas del cultivo, vegetativas y reproductivas (Acosta-Gallegos *et al.*, 1998). En éste sistema de producción, la utilización de variedades de frijol tolerantes al estrés hídrico es una alternativa práctica y económica para disminuir los efectos negativos de la sequía en la productividad de este cultivo (Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998).

Con respecto a la acumulación de biomasa del vástago y el rendimiento de frijol, se ha determinado que la etapa reproductiva, la cual comprende las fases posteriores a la floración, es la más sensible al estrés hídrico que en las fases vegetativas, debido al incremento en la demanda de asimilados por las estructuras reproductivas (Laing *et al.*, 1984; Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989). La precipitación acumulada durante la etapa reproductiva es determinante para el rendimiento de frijol bajo temporal (Padilla *et al.*, 2004).

El frijol no es reconocido como una especie resistente a la sequía; sin embargo, posee características que confieren escape (precocidad), evasión y tolerancia a la deshidratación, que se deben identificar y utilizar en un programa de mejoramiento genético. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del riego suplementario sobre la acumulación de biomasa del vástago y rendimiento en variedades mejoradas de frijol de temporal de diferente origen, raza y tipo de grano, desarrolladas por el programa de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para las condiciones del temporal en la zona de Calera, Zacatecas y áreas similares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad de prueba y diseño experimental

Se establecieron dos experimentos durante el ciclo primavera-verano de 2001 con dos juegos de variedades mejoradas de frijol bajo dos condiciones de humedad: temporal y temporal+riego suplementario; en un ensayo se incluyó un grupo de variedades de grano color negro y en otro, un grupo de variedades de grano color claro. Los experimentos se establecieron en el Campo Experimental Calera (22° 54' latitud norte, 102° 39' longitud oeste y una altitud de 2 197 m) del INIFAP, ubicado en Calera, Zacatecas, México. El clima del sitio experimental corresponde al templado seco, con un régimen de lluvias en verano que varía de 200 a 400 mm anuales (García, 1988). El suelo pertenece a la unidad Castañozem lúvico (FAO, 1989), con una profundidad superior a 1.0 m, pH ligeramente alcalino (7.2) y pobre en materia orgánica (1.5%). Este suelo es de textura franca, con una capacidad de campo de 20.2 y 19.8% y un punto de marchitez permanente de 10.9 y 10.7% para los estratos de 0-30 y 30-60 cm de profundidad, respectivamente. La

siembra se realizó manualmente en tierra húmeda el 22 de junio de 2001. La distancia entre surcos fue de 0.76 m y 0.10 m entre plantas, con lo que se obtuvo una densidad de 131 578 plantas ha⁻¹. Al momento de la siembra se fertilizó con la dosis de 30-60-00 (N-P₂O₅-K₂O), utilizando como fuentes urea y superfosfato de calcio triple. Se realizaron dos escardas mecánicas a los 20 y 40 días después de la siembra (DDS) para eliminar las malezas presentes y aporcar las plantas.

Las variedades se evaluaron en dos condiciones de humedad del suelo, temporal y temporal más riego suplementario. En el tratamiento de temporal la humedad del suelo dependió completamente de la precipitación pluvial registrada unos días antes y durante el ciclo del cultivo (Figura 1), mientras que en el tratamiento de temporal más riego suplementario, el suelo se mantuvo con una humedad aprovechable superior a 50% durante la fase reproductiva del cultivo, mediante la precipitación más dos riegos de auxilio de 5 cm de lámina cada uno, aplicados el 11 de julio y 10 de agosto, respectivamente. Esta cantidad de agua suplementaria fue suficiente para obtener un buen desarrollo del cultivo, ya que las plantas no mostraron síntomas por déficit hídrico.

En los dos experimentos se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas con distribución de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento de humedad del suelo. En la parcela grande se distribuyeron los tratamientos de humedad del suelo, mientras que en las parcelas chicas se establecieron las variedades. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 10 m de longitud y 0.76 m de separación entre ellos.

Material genético

En un experimento se evaluaron nueve variedades de frijol de grano color negro y en otro, 14 variedades de grano color claro. Estas variedades son de diferente raza y origen (Cuadro 1) y todas son de hábito de crecimiento indeterminado postrado Tipo III (López *et al.*, 1985). La mayoría de estas variedades han sido identificadas como resistentes a la sequía, con base en el rendimiento obtenido por cada variedad en diferentes localidades sujetas a sequía temporal (Acosta-Gallegos *et al.*, 1998). Con excepción de Negro San Luís que es un criollo regional, el resto son variedades mejoradas desarrolladas por el programa nacional de mejoramiento genético del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Rosales-Serna *et al.*, 2004).

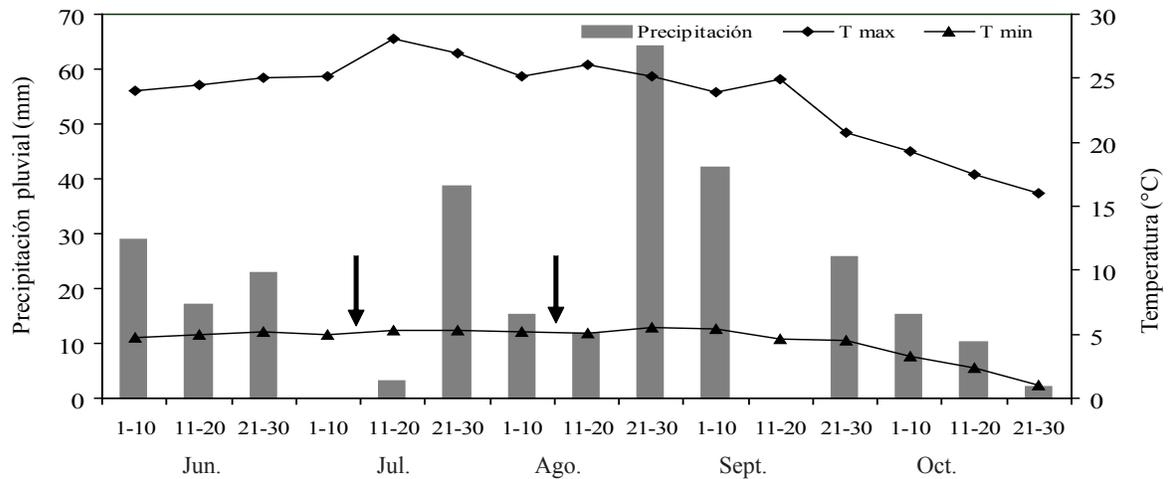


Figura 1. Precipitación acumulada y promedios de temperatura máxima y mínima en períodos decenales durante los meses de desarrollo del cultivo. Las flechas indican la aplicación del riego suplementario.

Cuadro 1. Origen, raza, hábito de crecimiento y tamaño del grano de las variedades de frijol de diferente color de grano utilizadas en dos experimentos. Calera, Zacatecas, México. 2001.

Variedad	Origen	Raza [†]	Hábito de crecimiento [‡]	Tamaño del grano [§]
Experimento de variedades de frijol de grano color negro				
Negro Durango	Durango	Durango	III	Mediano
Negro Altiplano	Durango	Durango	III	Mediano
Negro Zacatecas	Zacatecas	Mesoamericana	III	Mediano
Negro Vizcaya	Durango	Durango	III	Mediano
Negro Otomí	México	Durango	III	Mediano
Negro Ontiveros	Zacatecas	Mesoamericana	III	Mediano
Negro Z524	Zacatecas	Mesoamericana	III	Mediano
Negro 8025	México	Mesoamericana	III	Mediano
Negro San Luís	Zacatecas	Jalisco	III	Mediano
Experimento de variedades de frijol de grano color claro				
Pinto Bayacora	Durango	Durango	III	Mediano
Pinto Mestizo	Durango	Durango	III	Mediano
Pinto Zapata	Durango	Durango	III	Mediano
Pinto Villa	Durango	Durango	III	Mediano
Bayo Zacatecas	Zacatecas	Durango	III	Grande
Bayo Madero	Durango	Durango	III	Grande
Flor de Mayo Sol	Zacatecas	Jalisco	III	Mediano
Flor de Mayo M38	Guanajuato	Jalisco	III	Mediano
Flor de Mayo Noura	México	Jalisco	III	Mediano
Flor de Mayo 2000	Durango	Jalisco	III	Mediano
Flor de Junio Marcela	Guanajuato	Jalisco	III	Mediano
Flor de Junio Victoria	Zacatecas	Jalisco	III	Mediano
Manzano	Zacatecas	Jalisco	III	Mediano
Garbancillo Supremo	Zacatecas	Jalisco	III	Pequeño

[†]Singh *et al.* (1991); [‡]Tipo III= indeterminado postrado López *et al.* (1985); [§]White e Izquierdo (1991).

Características fenológicas

Se registraron los días a la floración (DF), los cuales se definieron como los días transcurridos después de la siembra hasta cuando 50% de las plantas en una parcela presentaron al menos una flor abierta. Los días a la madurez fisiológica (DMF) se definió como los días transcurridos después de la siembra hasta cuando 90% de las vainas en 50% de las plantas perdieron su pigmentación verde. Con estas características fenológicas se calculó el número de días de llenado del grano ($DLLG = DMF - DF$).

Biomasa y rendimiento de grano

A la madurez fisiológica se determinó la biomasa del vástago y el rendimiento de grano ($g\ m^{-2}$). Todas las partes de la planta, excepto el grano, se secaron a $70\ ^\circ C$ por 72 h.

Índice de cosecha, índice de eficiencia relativa y media geométrica

El índice de cosecha se calculó con la ecuación:

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

donde, rg_i = rendimiento de grano de la i -ésima variedad, y rb_i = rendimiento de biomasa de la i -ésima variedad (Schneider *et al.*, 1997; Ramírez y Kelly, 1998).

El índice de eficiencia relativa se calculó con la expresión:

$$IER = [(rr_i / Rr) (rt_i / Rt)]$$

donde, rr_i = rendimiento de grano en riego de la i -ésima variedad; rt_i = rendimiento de grano en temporal de la i -ésima variedad; Rr = rendimiento promedio de grano de las variedades en temporal mas riego suplementario, y Rt = rendimiento promedio de grano de las variedades en temporal (Graham, 1984).

La media geométrica se calculó con la ecuación:

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

donde, rr_i = rendimiento de grano en riego de la i -ésima variedad, y rt_i = rendimiento de grano en temporal de la i -ésima variedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fenológicas

Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) entre condiciones de humedad del suelo, genotipo se interacción condición de humedad x genotipo para los días a madurez fisiológica y período de llenado de grano en el experimento de variedades de grano negro. En el experimento de variedades de grano claro hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) entre condiciones de humedad del suelo, genotipos e interacción condición de humedad x genotipo para los días a madurez fisiológica y diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para los días a inicio de floración y llenado del grano.

En el experimento de variedades de grano negro, el testigo Negro San Luís de la raza Jalisco fue la más tardía a la floración y madurez fisiológica, mientras que Negro Ontiveros de la raza Mesoamericana, fue la más precoz. En el experimento de variedades de grano color claro, Flor de Mayo M38 y Flor de Mayo Noura, de la raza Jalisco fueron las más tardías; mientras que Pinto Bayacora, Pinto Zapata, Pinto Villa, Bayo Zacatecas, Bayo Madero, Flor de Mayo Sol, Flor de Mayo 2000, Flor de Junio Marcela, Flor de Junio Victoria, Manzano y Garbancillo Supremo, las primeras cinco pertenecientes a la raza Durango y las últimas seis, pertenecientes a la raza Jalisco, fueron las más precoces (Cuadro 2).

En el tratamiento con riego suplementario los días a la madurez fisiológica y la etapa de llenado del grano en los dos experimentos, fueron significativamente superiores que en el tratamiento de temporal. En promedio de las variedades, el efecto del riego suplementario sobre los días a madurez fisiológica y del llenado de grano fue de 11 días en los dos experimentos. Este efecto fue mayor en: Negro San Luís, Negro Otomí, Negro Ontiveros, Negro Vizcaya, Negro 8025, Negro Zacatecas y Negro Z524 en el experimento de variedades de grano negro, y Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol, Pinto Mestizo, Pinto Zapata, Pinto Villa, Flor de Mayo Sol y Manzano, en el experimento de variedades de grano claro (Cuadro 2). Por lo general, las variedades que muestran un acortamiento en la duración de la etapa reproductiva, muestran una transición rápida de la etapa vegetativa

a la reproductora y una alta tasa de llenado de grano en condiciones de humedad deficiente (Acosta y White, 1995; Esquivel *et al.*, 2004; Padilla *et al.*, 2005). Este aceleramiento de la madurez por lo general se observa

cuando el tratamiento de sequía es de duración prolongada durante la fase reproductiva y no existen condiciones favorables para la recuperación de las plantas (Ramírez y Kelly, 1998; Rosales *et al.*, 2001).

Cuadro 2. Días a floración, madurez fisiológica y duración del llenado de grano de variedades de frijol de diferente color de grano, sembradas en dos condiciones de humedad del suelo. Calera, Zacatecas, 2001.

Variedad	Días a floración		Días a madurez fisiológica		Duración de llenado del grano	
	T	T + R ¹	T ²	T + R ¹	T	
Experimento de variedades de frijol de grano color negro						
Negro Durango	44	97	89	53	45	
Negro Altiplano	44	96	90	52	46	
Negro Zacatecas	45	94	85	49	40	
Negro Vizcaya	45	95	84	50	39	
Negro Otomí	44	94	81	50	37	
Negro Ontiveros	41	92	79	51	38	
Negro Z524	45	99	90	54	45	
Negro 8025	50	94	84	44	34	
Negro San Luís (Testigo)	57	114	99	57	42	
Promedio	46	97	86	51	40	
DMS (0.05)	0.887	0.881	0.347	0.887	0.990	
Experimento de variedades de frijol de grano color claro						
Pinto Bayacora	43	94	76	51	33	
Pinto Mestizo	45	100	84	55	39	
Pinto Zapata	44	85	70	41	26	
Pinto Villa (Testigo)	44	89	75	45	31	
Bayo Zacatecas	46	89	83	43	37	
Bayo Madero	45	90	83	45	38	
Flor de Mayo Sol	42	92	74	50	32	
Flor de Mayo M38	52	101	97	49	45	
Flor de Mayo Noura	50	99	91	49	41	
Flor de Mayo 2000	46	96	88	50	42	
Flor de Junio Marcela	43	89	83	46	40	
Flor de Junio Victoria	44	90	82	46	38	
Manzano	45	89	79	44	34	
Garbancillo Supremo	42	88	81	46	39	
Promedio	45	92	81	47	36	
DMS (0.05)	0.276	1.111	2.623	1.095	2.842	

¹T+R= temporal más riego, con humedad aprovechable superior a 60% durante la etapa reproductiva; ²T= temporal, humedad del suelo en base a la precipitación registrada durante el ciclo del cultivo.

En el tratamiento con riego suplementario los días a la madurez fisiológica y la etapa de llenado del grano en los dos experimentos, fueron significativamente superiores,

que en el tratamiento de temporal. Este efecto fue mayor en: Negro San Luís, Negro Otomí, Negro Ontiveros, Negro Vizcaya, Negro 8025, Negro Zacatecas y Negro Z524 en

el experimento de variedades de grano negro, y en Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol, Pinto Mestizo, Pinto Zapata Pinto Villa, Flor de Mayo Sol y Manzano, en el experimento de variedades de grano claro (Cuadro 2). Por lo general, las variedades que muestran un acortamiento en la duración de la etapa reproductiva, muestran una transición rápida de la etapa vegetativa a la reproductora y una alta tasa de llenado de grano en condiciones de humedad deficiente (Acosta y White, 1995; Esquivel *et al.*, 2004; Padilla *et al.*, 2005). Este aceleramiento de la madurez por lo general se observa cuando el tratamiento de sequía es de duración prolongada durante la fase reproductiva y no existen condiciones favorables para la recuperación de las variedades (Ramírez y Kelly, 1998; Rosales *et al.*, 2001).

La máxima reducción del período de llenado del grano debida al aceleramiento de la madurez ocurrió en las variedades: Pinto Bayacora, Flor de Mayo Sol, Pinto Mestizo, Negro San Luis, Pinto Zapata, Pinto Villa, Negro Otomí y Negro Ontiveros, genotipos del mismo hábito de crecimiento y pertenecientes a diferentes razas genéticas. Efectos similares de la sequía intermitente sobre la fenología han sido reportados con anterioridad en frijol (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Ramírez y Kelly, 1998). La respuesta y acoplamiento de la fenología del cultivo a los factores ambientales y patrones de lluvia ha sido reconocida como un criterio importante para el mejoramiento de la resistencia a la sequía en frijol (Ludlow y Muchow, 1990; Acosta-Gallegos y Adams, 1991; Acosta-Gallegos y White, 1995; Ramírez y Kelly, 1998).

Biomasa y rendimiento

Se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.001$) entre condiciones de humedad del suelo, variedades e interacción condición de humedad x variedad para la biomasa del vástago y rendimiento de grano en ambos experimentos (variedades de grano negro y variedades de grano claro). En promedio de las variedades, el incremento por el riego suplementario fue mayor para el rendimiento de grano que para la acumulación de biomasa en el vástago en los dos experimentos (Cuadro 3). Esta respuesta se debió a que las condiciones de humedad en el tratamiento de temporal se tornaron más severas hacia el final del ciclo de cultivo, cuando la biomasa del vástago ya se había definido, mientras que el grano aún estaba en formación, afectando adversamente su tamaño. Resultados similares han sido consignados por otros autores (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989; Acosta-Gallegos y Adams, 1991; Ramírez y Kelly, 1998).

Considerando como 100% la producción de biomasa del vástago y el rendimiento de grano en el tratamiento de temporal, el efecto positivo del riego suplementario fue mayor en las variedades de frijol de grano negro, entre las cuales para grano se encuentran: Negro Otomí, Negro Ontiveros, Negro Z524, correspondientes a la raza Durango y Negro San Luis de la raza Jalisco. En el experimento de variedades de grano claro, entre las de mayor efecto, se ubicaron tres de la raza Jalisco, Flor de Mayo Sol, Flor de Mayo M38 y Flor de Mayo 2000, así como una de la raza Durango, Pinto Mestizo (Cuadro 3). Estos resultados indican que el incremento de la biomasa del vástago y el rendimiento por efecto del riego suplementario fue independiente de la fenología, del color del grano y de la raza genética.

En general para la producción de biomasa del vástago y el rendimiento en las variedades de grano claro, tales como: Pinto Bayacora, Pinto Zapata, Pinto Villa, Bayo Zacatecas y Bayo Madero de la raza Durango, así como Flor de Junio Marcela, Flor de Junio Victoria y Manzano de la raza Jalisco, fueron las de mayor adaptación a las condiciones de temporal (Cuadro 3). Las variedades Pinto Bayacora, Pinto Mestizo y Pinto Zapata mostraron además la más baja producción de biomasa del vástago en el tratamiento testigo, así como las variedades Bayo Madero y Flor de Junio Marcela. Estos resultados sugieren, como se mencionó anteriormente, una rápida transición de la fase vegetativa a la reproductiva, lo cual es excelente si se acopla a un alto índice de cosecha o adaptación deficiente a las condiciones de temporal.

Índice de cosecha, índice de eficiencia relativa y media geométrica

Se observó diferencia altamente significativa ($p \leq 0.001$) entre tratamientos de humedad del suelo y variedades para el índice de cosecha (datos no presentados). La mayoría de las variedades presentaron una disminución para el índice de cosecha en la condición de temporal con respecto al tratamiento de temporal más riego suplementario (Cuadro 4). Resultados similares fueron consignados por Foster *et al.* (1995) y Padilla *et al.* (2004) para otras variedades. En la presente investigación, el efecto de riego suplementario promedio de las variedades fue muy similar en los dos experimentos. Entre las variedades que exhibieron el mayor efecto positivo están: de grano negro, Negro San Luis y Negro Z524, y de grano claro, Pinto Bayacora, Garbancillo Supremo, Pinto Mestizo, Bayo Zacatecas y Flor de Junio Marcela.

Cuadro 3. Biomasa del vástago, rendimiento y porcentaje de incremento por el riego suplementario en dos experimentos con variedades de frijol de diferente color de grano, sembradas en dos condiciones de humedad del suelo. Calera, Zacatecas, 2001.

Variedad	Biomasa del vástago (g m ⁻²)		Rendimiento (g m ⁻²)		Incremento por riego suplementario (%)	
	T + R ¹	T ²	T + R	T	Biomasa	Rend.
Experimento de variedades de frijol de grano negro						
Negro Durango	261	153	230	97	70	137
Negro Altiplano	343	134	240	98	155	144
Negro Zacatecas	335	149	276	131	124	110
Negro Vizcaya	348	174	250	86	100	190
Negro Otomí	294	119	271	89	147	204
Negro Ontiveros	312	78	303	97	300	212
Negro Z524	329	168	313	94	95	232
Negro 8025	343	134	259	103	155	151
Negro San Luis	384	163	225	55	135	309
Promedio	327	141	263	94	142.3	187.6
DMS (0.05)	42.284	47.927	31.652	28.170		
Experimento de variedades de frijol de grano claro						
Pinto Bayacora	153	89	202	108	71	87
Pinto Mestizo	161	96	275	96	67	186
Pinto Zapata	166	93	233	126	78	84
Pinto Villa	221	154	252	139	43	81
Bayo Zacatecas	235	156	264	141	50	87
Bayo Madero	192	128	228	132	50	72
Flor de Mayo Sol	249	175	347	129	42	168
Flor de Mayo M38	326	119	254	83	173	206
Flor de Mayo Noura	260	144	183	94	80	94
Flor de Mayo 2000	238	103	235	79	131	197
Flor de Junio Marcela	184	142	169	90	29	87
Flor de Junio Victoria	204	128	194	105	59	84
Manzano	302	173	298	164	74	81
Garbancillo Supremo	233	153	227	120	52	89
Promedio	223	132	240	115	71.3	114.5
DMS (0.05)	22	28	20	18		

¹T+R=temporal más riego, con humedad aprovechable superior a 50% durante la etapa reproductiva; ²T=temporal, humedad del suelo en base a la precipitación registrada durante el ciclo del cultivo.

Cuadro 4. Índice de cosecha, índice de eficiencia relativa y media geométrica en dos experimentos de variedades de frijol, sembradas en dos condiciones de humedad del suelo. Calera, Zacatecas, 2001.

Variedad	Índice de cosecha		IER	MG (g m ⁻²)
	T + R ¹	T ²		
Experimento de variedades de frijol de grano negro				
Negro Durango	47	41	0.90	149
Negro Altiplano	41	42	0.95	153
Negro Zacatecas	45	47	1.46	190
Negro Vizcaya	41	34	0.86	146
Negro Otomí	48	41	0.97	155
Negro Ontiveros	49	46	1.18	171
Negro Z524	48	38	1.19	171
Negro 8025	43	43	1.07	163
Negro San Luis	37	25	0.50	111
Promedio	44	39	1.00	156
DMS (0.05)	3.45	6.95		
Experimento de variedades de frijol de grano claro				
Pinto Bayacora	56	54	0.89	147
Pinto Mestizo	63	51	0.95	162
Pinto Zapata	58	58	1.06	171
Pinto Villa	53	47	1.26	187
Bayo Zacatecas	53	46	1.34	192
Bayo Madero	54	50	1.08	173
Flor de Mayo Sol	58	44	1.61	211
Flor de Mayo M38	44	40	0.76	145
Flor de Mayo Noura	40	39	0.62	131
Flor de Mayo 2000	50	43	0.67	136
Flor de Junio Marcela	47	38	0.55	123
Flor de Junio Victoria	48	44	0.73	142
Manzano	50	47	1.76	221
Garbancillo Supremo	49	38	0.98	165
Promedio	51	45	1.01	164
DMS (0.05)	2.28	3.79		

¹T+R=temporal más riego, con humedad aprovechable superior a 60% durante la etapa reproductiva; ²T= temporal, humedad del suelo en base a la precipitación registrada durante el ciclo del cultivo.

En contraste, en el tratamiento de temporal, entre las variedades con mayor índice de cosecha, están: Negro Zacatecas, Negro Z524, Pinto Zapata, Pinto Bayacora, Pinto Mestizo y Bayo Madero. Esta respuesta se asoció a las diferencias detectadas en la duración de las fases fenológicas, ya que dichas variedades se caracterizaron por tener una madurez acelerada en el tratamiento de temporal. Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata (1989) consignaron

resultados similares con otras variedades de frijol de la raza Durango en condiciones de temporal. La alta proporción de la materia seca del vástago en la semilla mostrada en esas variedades, indica que estas poseen el mecanismo fisiológico de alta removilización de asimilados en comparación con las demás variedades, lo cual les confiere mejor adaptación a las condiciones limitantes de humedad del Altiplano semiárido de México.

De acuerdo con los resultados del índice de eficiencia relativa y la media geométrica, parámetros confiables para la evaluación y selección de variedades, ya que toma en consideración el rendimiento obtenido bajo ambas condiciones de humedad del suelo, las variedades con los valores más altos de ambos índices fueron: grano negro, Negro Zacatecas, Negro Ontiveros y Negro Z524, las tres de la raza Mesoamericana, y de grano claro, Pinto Villa, Bayo Zacatecas, Flor de Mayo Sol y Manzano, las dos primeras de la raza Durango y las dos últimas de la raza Jalisco. Esta respuesta se debió a una alta eficiencia en la distribución de materia seca en el vástago y en consecuencia a un alto rendimiento en ambos tratamientos de humedad del suelo, en los dos experimentos.

CONCLUSIONES

El efecto del riego suplementario sobre el peso seco del vástago y el rendimiento fue mayor en las variedades mejoradas de frijol de grano de color negro que en las de color claro.

Las variedades de grano negro con mayor acumulación de biomasa del vástago y rendimiento en el tratamiento de riego suplementario, fueron: Negro Zacatecas, Negro Ontiveros y Negro Z524, de la raza Mesoamericana.

Las variedades de grano de color claro con mayor acumulación de biomasa del vástago y rendimiento en el tratamiento de riego suplementario fueron: Pinto Villa y Bayo Zacatecas de la raza Durango, y Flor de Mayo Sol y Manzano, de la raza Jalisco.

De acuerdo al índice de eficiencia relativa y la media geométrica, las variedades Negro Zacatecas, Negro Z524, Negro Ontiveros, Manzano, Flor de Mayo Sol y Bayo Zacatecas, fueron las más eficientes en rendimiento.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos, J. A.; Acosta-Díaz, E.; Padilla-Ramírez, J. S.; López-Salinas, E.; Salinas Pérez, R. A.; Mayek Pérez, N. and Kelly, J. D. 1998. Seed yield of dry bean cultivars under drought stress. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop* 41:151-152.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Kohashi-Shibata, J. 1989. Effect of water stress on growth and yield of indeterminate dry-bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars. *Field Crop Res.* 20:81-93.
- Acosta-Gallegos, J. A. and Adams, M. W. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. *J. Agric. Sci (Cambridge)* 117:213-219.
- Acosta-Gallegos, J. A. and White, J. W. 1995. Phenological plasticity as an adaptation by common bean to rainfed environments. *Crop Sci* 35:199-204.
- Esquivel-Esquivel, G.; Acosta-Gallegos, J. A.; Ortíz-Cereceres, J.; Mendoza-Castillo, M. C. y Padilla-Ramírez, J. S. 2004. Fenología y rendimiento de cuatro variedades de frijol en el Altiplano Central de México. *Agric. Téc. Méx.* 30(1):19-27.
- Esquivel Villagrana, F.; Padilla Ramírez, J. S. y Ochoa Márquez, R. 2003. Eficiencia del uso del agua con frijol en diferentes fechas de siembra y regímenes de humedad. INIFAP. CIRNOC. Campo Experimental Pabellón. 19 p. (Folleto Científico Núm. 18).
- 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.
- Foster, E. F.; Pajarito, A. and Acosta-Gallegos, J. A. 1995. Moisture stress impact on N partitioning, N remobilization and N-use efficiency in beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Agric. Sci (Cambridge)* 124: 27-37.
- García, E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México, D. F. 217 p.
- Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. *Advances in Plant Nutrition.* 1:57-102.
- Laing, D. R.; Jones, P. G. and Davies, J. H. C. 1984. Common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: P.R. Goldsworthy and N. M. Fisher (eds.), *The physiology of tropical crops.* John Wiley & Sons, Ltd. Pp.305-351
- López, M.; Fernández, F. y van Schoonhoven, A. 1985. Frijol: investigación y producción. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
- Ludlow, M. M. and Muchow, R. C. 1990. Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. *Adv. Agron.* 43:107-153.

- Padilla-Ramírez, J. S.; Acosta-Díaz, E.; Gaytán-Bautista, R.; Acosta-Gallegos, J. A.; Esquivel-Esquivel, G.; Mayek-Pérez, N. and Kelly, J. D. 2004. Rainfall pattern and seed yield of dry bean in the semiarid highlands of Mexico. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop* 47:291-292.
- Padilla-Ramírez, J. S.; Acosta-Gallegos, J. A.; Acosta-Díaz, E.; Mayek-Pérez, N. and Kelly, J. D. 2005. Partitioning and partitioning rate to seed yield in drought-stressed and non stressed dry bean genotypes. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop* 48:152-153.
- Ramirez-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 fotoperíodo. *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. Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Res.* 85:203-211.
- Rosales-Serna, R.; Acosta-Gallegos, J. A.; Muruaga-Martínez, J. S.; Hernández-Casillas, J. M.; Esquivel-Esquivel, G. y Pérez-Herrera, P. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Valle de México. 148 p. (Libro Técnico Núm. 6).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Naturales, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2006. Anuario estadístico de producción agrícola por cultivo. Centro de Estadística Agropecuaria. México, D. F.
- 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.; Gepts, S. P. and Debouck, G. D. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. Fabaceae). *Econ. Bot.* 45:379-396.
- White, J. W. and Izquierdo, J. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. *In:* van Schoonhoven A. and Voyset, O. (eds.). Common beans. Research for crop improvement. CIAT, Cali, Colombia. p. 287-366.