

NITRÓGENO, DISTANCIA ENTRE SURCOS, RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA EN DOS CULTIVARES DE FRIJOL

José A. Escalante-Estrada¹, María T. Rodríguez-González¹ y Yolanda I. Escalante-Estrada²

RESUMEN

El manejo de las prácticas agrícolas se ha considerado una estrategia para incrementar el rendimiento del frijol. Así, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la distancia entre surcos de siembra y la aplicación de N sobre la productividad del agua, biomasa, rendimiento y contenido de N en dos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con diferente hábito de crecimiento (HC). El ensayo se realizó bajo condiciones de campo y régimen de lluvia durante 2011 en Montecillo, Méx., México, con clima templado de altura. Los tratamientos consistieron en la siembra el 8 de mayo, de frijol Cacahuete 72 de HC determinado tipo I y Michoacán 12-A-3 HC indeterminado arbustivo tipo II; con 0 y 100 kg de N ha⁻¹ a 80 cm y 40 cm de distancia entre surcos y 15 cm entre plantas. El diseño experimental fue de bloques al azar en arreglo de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. El frijol Michoacán 12-A-3 fue más tardío y superó en radiación interceptada, extracción de nitrógeno, rendimiento en grano y de proteína al frijol Cacahuete 72. Dichas variables y la productividad del agua fueron más altas al reducir la distancia entre surcos y con la fertilización nitrogenada. El número de vainas, número de granos y la extracción de nitrógeno presentaron mayor relación con el rendimiento en grano. Estos resultados indican que mediante el manejo de las prácticas agrícolas puede lograrse una mayor productividad del agua, producción de materia seca total o biomasa, extracción de nitrógeno, rendimiento en grano y de proteína en frijol.

Palabras clave adicionales: Fenología, *Phaseolus vulgaris*, potencial de agua, radiación interceptada

ABSTRACT

Nitrogen, distance between furrows, grain yield, and water productivity in two bean cultivars

The management of agricultural practices has been considered a strategy to increase bean yield. Thus, the objective of this study was to determine, the effect of distance between rows and the N application on the water productivity, biomass, nitrogen extraction, grain yield and protein yield in cultivars of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) with different growth habit (GH). The experiment was conducted under conditions of rainy season and field during 2011 in Montecillo Mex., México, with mild climate. Treatments consisted in planting on 8 may, the cultivar Cacahuete 72 GH determinate type I and Michoacán 12-A-3 GH indeterminate shrub type II; with 0-100 kg N ha⁻¹ to 80 cm and 40 cm distance between furrows and 15 cm between plants. Experimental design was randomized blocks in arrangement of split-split plots with four replications. Bean Michoacán 12-A-3 behaved as a late cultivar and surpassed in intercepted radiation, water productivity, biomass, nitrogen extraction and grain and protein yield to Cacahuete 72. These variables and water productivity were higher when reducing the distance between rows and nitrogen fertilization. The number of pods, seed number and nitrogen extraction presented high relationship with grain yield. These results indicate that through management of agricultural practices it can be improved water productivity, dry matter or biomass production, nitrogen extraction, and grain and protein yield of dry beans.

Additional key words: Intercepted radiation, *Phaseolus vulgaris*, phenology, water potential

INTRODUCCIÓN

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo de importancia para la dieta alimenticia por sus

propiedades nutricionales y medicinales (Bennink, 2005). En México, ocupa el segundo lugar por la superficie destinada a esta leguminosa que es de

Recibido: Enero 6, 2015

Aceptado: Mayo 31, 2015

¹ Postgrado en Botánica Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo Mpio de Texcoco, Méx. CP.56230. México. e-mail: jasee@colpos.mx; mate@colpos.mx

² Instituto de Investigación Científica, Área de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo Gro. México. e-mail: y_escalante@yahoo.com.mx

1,7 millones de hectáreas a cuya actividad se ocupan alrededor de 300 mil productores, de los cuales el 48 % tienen predios menores a 5 ha (Robles, 2013). El 87 % de la superficie sembrada es de régimen de lluvia; por ello, el frijol es un cultivo altamente dependiente de las condiciones climáticas (SAGARPA, 2007); el rendimiento medio en México para 2013 fue de $667 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (SAGARPA, 2013), que no es suficiente para cubrir el consumo interno por lo que se recurre a la importación. Se ha indicado que para bajar la importación de frijol se requiere, entre otras cosas, reducir el costo de producción en un 20 % e incrementar el rendimiento en 10 % (Borja y García, 2008). Para incrementar dicho rendimiento se ha recurrido al manejo de las prácticas agrícolas. White e Izquierdo (1991) y Grafton et al. (1988) mencionan como estrategias para incrementar el rendimiento potencial del frijol, la reducción de la distancia entre surcos o la siembra en surcos a doble hilera (Jiménez y Acosta, 2013) y el suministro apropiado de nitrógeno (Eckert et al., 2009), el cual es determinante para lograr un rápido establecimiento del área foliar, mayor cobertura del suelo e intercepción de la radiación y en consecuencia mayor producción de materia seca y productividad del agua (Escalante y Kohashi, 1995; Escalante, 2001). Grafton et al. (1988) señalan que las siembras de frijol a 76 cm de distancia son apropiadas para los tipos III (hábito de crecimiento indeterminado, guía corta o media guía, Escalante y Kohashi, 1993). Sin embargo, es muy amplia para los de tipo II (hábito indeterminado arbustivo), por lo que la eficiencia en el uso del suelo y de los insumos para el crecimiento serían más bajos. Barbieri et al. (2008) señalan que el incremento en el rendimiento en grano del maíz sembrado a distancias cortas entre surcos, se relaciona con una mayor radiación interceptada por el cultivo. Por otra parte, la desventaja de las siembras a corta distancia entre surcos, es la ocurrencia de enfermedades generadas por un microclima más húmedo bajo esta condición y que se traduce en un rendimiento más bajo. No obstante, esto puede evitarse con la siembra de cultivares resistentes y un programa de control oportuno (Faria et al., 2005; Eckert et al., 2010). Dicha estrategia también ha tenido éxito en cultivos como

Raphanus sativus (Pervez et al., 2004), *Zea mays* (Manzoor et al., 2010) y *Helianthus annuus* (Olalde et al., 2000). Diversos estudios en frijol, han demostrado que mediante la aplicación de N al suelo, pueden lograrse incrementos en el número de vainas, número de granos y consecuentemente en el rendimiento (Escalante et al., 1999; Fageria y Santos, 2008; Escalante et al., 2013), además de una mayor extracción de N y mayor contenido de proteína en el grano (Escalante y Rodríguez, 2010). Por otra parte, el grano proveniente de plantas que recibieron aplicación de N requiere menor tiempo de cocción, aunque esto también dependerá del genotipo y época de aplicación del nutrimento (Medeiros et al., 2009). La respuesta a estas prácticas agrícolas podría ser variable y dependería de las características de crecimiento del cultivar utilizado, por lo que los arreglos topológicos, densidad de siembra, suministro de N deben ser los apropiados para cada especie y cultivar (Eckert et al., 2009). El objetivo del estudio fue determinar, el efecto de la distancia entre surcos de siembra y la aplicación de N sobre la producción de biomasa, extracción de nitrógeno, rendimiento de grano, proteína y productividad del agua en dos cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó bajo condiciones de campo y régimen de lluvia durante 2011 en Montecillo, Méx., México ($19^{\circ} 29' \text{ N}$, $98^{\circ} 53' \text{ O}$ y 2250 m de altitud) de clima templado de altura (Cw) según García (2004). En los primeros 30 cm el suelo es franco-arcilloso, con $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (NO_3) de suelo, pH de 7,0, conductividad eléctrica $0,49 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 1,7 % de materia orgánica y densidad aparente de $1,22 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Los tratamientos consistieron en la siembra de cultivares de frijol y la aplicación de N en forma de urea (46 % de N) a razón de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ antes de la siembra y $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en la primera escarda. El testigo fue sin aplicación de N (0 FN). Además, en todo el cultivo se aplicó 100 kg de fósforo (P_2O_5). Los cultivares Cacahuete 72 (Cacahuete) de hábito de crecimiento determinado tipo I color de flor rosa y grano alargado crema con rayas rojas y Michoacán 12-A-3 (Michoacán) de hábito de

crecimiento indeterminado arbustivo tipo II, de flor morada y color de grano negro, fueron sembrados el 8 de mayo a 80 cm y 40 cm de distancia entre hileras o surcos (DES) y 15 cm entre plantas, lo cual generó una densidad de población de 8,3 y 16,6 plantas por metro cuadrado (83.000 y 166.000 plantas por hectárea, respectivamente).

El diseño experimental fue bloques al azar en arreglo de parcelas subdivididas con cuatro repeticiones. A la parcela mayor correspondió el cultivar, a la mediana los tratamientos de N y a la menor la distancia entre hileras. Durante el desarrollo del cultivo, se registró la media mensual de la temperatura máxima (T_{\max}) y mínima (T_{\min}), y la suma mensual de la precipitación (PP) y evaporación (EV). Se estableció la ocurrencia de las fases fenológicas siguiendo el criterio señalado en Escalante y Kohashi (1993), de acuerdo a los días después de la siembra (dds), como la emergencia (fase V1), inicio de floración (R6) y madurez fisiológica (R9). En tres ocasiones por unidad experimental, a los 37 dds (fase V7, en Michoacán y V9 para Cacahuate) y 48 dds (R5 para Michoacán y R7 para Cacahuate), se registró la radiación interceptada (RI) por el cultivo, utilizando un sensor lineal de quantum modelo LI-191 con la radiación incidente (RS) sobre el dosel y en la base del mismo (RB), mediante el planteamiento $RI = [(RS-RB)/RS] \times 100$. Además por ser un estudio de temporal o de régimen de lluvia, se planteó conocer el estado hídrico de la planta, mediante el potencial hídrico medido con la bomba de presión (Scholander et al., 1965), entre las 13:00 y 14:00 horas, en la hoja superior totalmente expandida de tres plantas en cada unidad experimental a los 40 dds (V7 Michoacán y V10 Cacahuate) y 46 dds (R5 y R7 para Michoacán y Cacahuate, respectivamente).

A la madurez fisiológica, en 30 plantas se evaluó la biomasa (BT) con base en la materia seca luego de secar el material a 80 °C; el rendimiento de grano (RG) expresado como peso seco al 10 % de humedad, el número de granos normales (NG) y el número de vainas con grano (NV). Se registró el peso de cien granos (PCG) para estimar el tamaño del grano (TG) y el número de granos por vaina (GV) mediante el cociente resultante del NG/NV. La productividad del agua (PA) se calculó para BT y RG con base a

la PP que recibió cada cultivar durante el ciclo, con las ecuaciones $PABT = BT/PP$ y $PARG = RG/PP$. La extracción de N (EN) por unidad de superficie se obtuvo a partir del peso de la materia seca (MS) y concentración de N (Kjeldhal) del grano (peso seco al 8 % de humedad). El rendimiento de proteína (RP) del grano se calculó mediante la concentración de N \times 6,25. Mediante el paquete SAS 9,1 (Cary, NC), se aplicó la prueba de Bartlett para determinar la homogeneidad de varianza para el rendimiento entre cultivares, a las variables en estudio un análisis de varianza, la prueba de comparación de medias de Tukey y un análisis de correlación entre la biomasa, el rendimiento y sus componentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología y elementos del clima. La emergencia del cultivo ocurrió a los 7 días dds. El inicio de la floración (IF) fue a los 45 y 56 dds, y la madurez fisiológica (MF) a los 94 y 114 dds, para los cultivares Cacahuate y Michoacán, respectivamente. De la siembra a IF la T_{\max} fue de 28-30 °C y la T_{\min} de 7-8 °C; de IF a MF fue de 27-29 °C y 9 °C, respectivamente. La precipitación durante el ciclo de crecimiento de los cultivares fue de 307 y 411 mm, y la evaporación de 446 y 542 mm, respectivamente. Durante el período de floración del frijol Cacahuate y previo al de Michoacán, ocurrió un período de sequía y alta evaporación que pudo limitar el rendimiento debido a menor producción de órganos reproductivos, fallas en polinización y caída o abscisión de botones, flores y vainas.

Potencial hídrico (Ψ_w). En el Cuadro 1 se indica que solamente a los 40 dds se observaron diferencias en el Ψ_w del frijol por efecto del cultivar, nitrógeno y distancia entre surcos. En el cv. Michoacán se presentó el Ψ_w más bajo con -1,4 MPa, mientras que en Cacahuate fue de -1,2 MPa, lo que indica que el Michoacán estuvo sujeto a mayor estrés hídrico. Tendencias similares se observaron con el N (-1,4 MPa) en relación al testigo sin N (-1,2 MPa). No se observaron diferencias entre las DES. Esto sugiere que el frijol con N y en particular el cv. Michoacán, debido a su mayor dosel, pudo agotar con mayor rapidez el agua del suelo generando una situación de mayor estrés hídrico. A los 46 dds no se observaron cambios significativos entre

tratamientos. Sin embargo, el Ψ_w fue más alto, atribuido a que las lluvias en ese lapso hicieron menos severa la situación de estrés, encontrándose valores de Ψ_w de -1,0 MPa. Barrios et al. (2011), también para Montecillo Méx., reportan para frijol Flor de Mayo de tipo III a los 50 dds, Ψ_w de -0,33 MPa bajo riego y de -1,22 MPa en seco. Dicha diferencia indica las condiciones de estrés hídrico del frijol bajo régimen de lluvia.

Cuadro 1. Potencial hídrico (Ψ_w) del frijol (*P. vulgaris*) en función del cultivar (cv), nitrógeno (N) y distancia entre surcos (DES)

Tratamiento	Ψ_w (MPa)	
	40 dds	46 dds
Cultivar		
Cacahuat	-12,7 b	-11,4 a
Michoacán	-13,9 a	-11,8 a
Nitrógeno (kg·ha⁻¹)		
100	-13,8 a	-11,6 a
0	-12,8 b	-11,5 a
DES (cm)		
40	-14,7 a	-12,2 a
80	-11,9 b	-10,9 b
Media general	-13,3	-11,6

Las interacciones cv*N, cv*DES, N*DES y cv*N*DES no mostraron efectos significativos ($P>0,05$). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Radiación interceptada. La RI a los 37 y 48 dds, presentó cambios significativos debido al cv, N y DES (Cuadro 2). En ambas fechas, La RI más alta correspondió a Michoacán, al frijol con N y siembra a DES cortas. Dicho comportamiento indica una mayor cobertura y tamaño del dosel de Michoacán en relación a Cacahuat; y que con N se estimula la expansión foliar y con DES cortas se logra una mayor y rápida cobertura del suelo. Respuesta semejante ha sido reportada en maíz por Díaz et al. (2011).

Biomasa, rendimiento y sus componentes. La biomasa, rendimiento en grano, número de granos y número de vainas mostraron diferencias significativas ($P\leq 0,05$) solamente por efecto de cv, N y DES, (Cuadro 3). El frijol Michoacán presentó una BT, RG, NG y NV superior a Cacahuat. El TG de Cacahuat fue más alto que el de Michoacán. El GV fue similar entre CV. Al reducir la DES de 80 a 40 cm la BT y el RG se incrementaron en 2,5 veces y en 38 %, respectivamente, debido en parte a incrementos en

el NG y NV. Osuna-Ceja et al. (2012) en frijol Pinto Saltillo de HC indeterminado postrado, señalan aumentos en el rendimiento de 28,6% y 41 % al reducir la DES de 0,76 m, a 0,40 y 0,20 m, respectivamente; Jiménez y Acosta (2013), también mencionan incrementos del 52 y 44 %, al reducir la DES de 0,75 a 0,25 cm para frijol de HC indeterminado y determinado, respectivamente. Estos resultados comprueban que con una menor distancia entre surcos e incremento de la densidad de plantas se logra cubrir el suelo y capturar más energía desde etapas tempranas del cultivo, lo cual se refleja en un incremento de rendimiento, como también fue observado en maíz por Soltero et al.(2010). Por otra parte, el N incrementó la BT y el RG en 14% y 67 %, respectivamente, debido a que el N estimuló la ocurrencia de un mayor NV, GV y NG, como también señalan Escalante et al. (1999) y Escalante et al. (2013). El tamaño del grano, estimado mediante el PCG no fue afectado por el cambio en DES y el N, lo que sugiere que los cambios en estas prácticas de manejo no fueron determinantes para afectar el TG y que es una característica condicionada principalmente por el factor genotípico (Cuadro 3).

Cuadro 2. Radiación interceptada (RI) en frijol (*P. vulgaris*) en función del cultivar (cv), nitrógeno (N) y distancia entre surcos (DES)

Tratamiento	RI (%)	
	37 dds	48 dds
Cultivar		
Cacahuat	67 b	77 b
Michoacán	82 a	83 a
Nitrógeno (kg·ha⁻¹)		
100	77 a	84 a
0	72 b	76 b
DES (cm)		
40	82 a	85 a
80	67 b	75 b
Media general	75	80

Las interacciones cv*N, cv*DES, N*DES y cv*N*DES no mostraron efectos significativos ($P>0,05$). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Contenido de N en el grano, extracción de N y rendimiento de proteína. El contenido de N en el grano (CN), solamente mostró cambios significativos por efecto del N; mientras que la extracción de N y el rendimiento de proteína por

Escalante et al. Nitrógeno, distancia de siembra y productividad del agua en frijol

efecto de cv, N y DES (Cuadro 4). Así, el CN se incrementó en 32 % con la aplicación de N al cultivo, lo cual confirma lo encontrado en estudios previos con frijol por Escalante y Rodríguez (2009). El CN promedio para cv y DES fue de 3,8 %. Por otra parte, la EN por Michoacán fue 31 % superior a la de Cacahuate, debido a su mayor tamaño de dosel vegetal (indicado por la BT) y longitud de ciclo de crecimiento, que le permitió mayor tiempo para la extracción del nutrimento. Al contar con mayor disponibilidad de N con la aplicación del fertilizante, en dicho tratamiento la EN y el RP fueron superiores al testigo (sin aplicación de N) en 84 % y 80 %, respectivamente. La reducción en DES, que por lo general genera mayor número de plantas, mayor índice de área foliar y en consecuencia mayor superficie para transpiración, aumentó en 38 % la EN y 39 % el RP. (Cuadro 4). Incremento en la EN al reducir la

DES, también ha sido reportado en maíz por Reta et al. (2007).

Productividad del agua (PA). En el Cuadro 5 se indica que la PABT fue más alta en Cacahuate; mientras que la PARG fue estadísticamente similar entre los cv. Por otra parte, DES cortas y fertilización con N conducen a una más alta PABT y PARG. Dicha respuesta posiblemente se deba a que además de que el N estimula la expansión foliar (Escalante y Rodríguez, 2010), con las hileras de plantas más cercanas que por lo general produce una más alta densidad de plantas y área foliar por unidad de superficie, se logró cubrir con mayor rapidez el suelo y de esta manera la mayor parte del agua disponible para el cultivo se utilizó en la transpiración, reduciéndose las pérdidas por evaporación y reflejándose esto en mayor producción de materia seca (Escalante, 1995; Escalante et al., 2001).

Cuadro 3. Biomasa ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), rendimiento de grano ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) y sus componentes de dos cultivares (cv) de frijol (*P. vulgaris*) en función del nitrógeno (N) y distancia entre surcos (DES)

	BT ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	RG ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	TG (mg)	NG (m^{-2})	NV (m^{-2})	GV
Cultivar						
Cacahuate	280 b	109 b	413 a	264 b	80 b	3,4 a
Michoacán	308 a	121 a	178 b	679 a	184 a	3,6 a
Nitrógeno ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)						
0	274 b	89 b	248 a	359 b	111 b	2,3 b
100	313 a	141 a	241 a	584 a	152 a	3,8 a
DES (cm)						
80	168 b	95 b	247 a	384 b	107 b	3,4 a
40	420 a	135 a	241 a	560 a	156 a	3,5 a
Media general	294	141	299	472	132	3,5

BT=biomasa; RG =rendimiento de grano; TG=tamaño del grano (mg); NG=número de granos; NV=número de vainas; GV=granos por vaina. Las interacciones cv*N, cv*DES, N*DES y cv*N*DES no mostraron efectos significativos ($P>0,05$). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Cuadro 4. Concentración de nitrógeno en la semilla (CN), extracción de nitrógeno (EN) y rendimiento de proteína (RP) del frijol (*P. vulgaris* L.) en función del cultivar, fertilización nitrogenada y distancia entre surcos

Cultivar	Nitrógeno ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Distancia entre surcos (cm)	CN (%)	EN ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	RP ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)
Cacahuate	---	---	3,9 a	4,2 b	26,6 b
Michoacán	---	---	3,8 a	5,5 a	34,7 a
---	100	---	4,1 a	5,9 a	36,1 a
---	000	---	3,6 b	3,2 a	20,0 b
---	---	40	3,8 a	5,1 a	32,1 a
---	---	80	3,9 a	3,7 b	27,1 b
Media general			38,5	4,4	29,6

Las interacciones cv*N, cv*DES, N*DES y cv*N*DES no mostraron efectos significativos ($P>0,05$). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P\leq 0,05$)

Cuadro 5. Productividad del agua para producción de biomasa (PABT) y rendimiento de grano (PARG) de cultivares de frijol (*P. vulgaris*) en función del nitrógeno (N) y distancia entre surcos (DES)

Tratamiento	PABT (g·m ⁻² ·mm ⁻¹)	PARG
Cultivar		
Cacahuatate	1,08 a	0,34 a
Michoacán	0,84 b	0,29 a
Nitrógeno (kg·ha⁻¹)		
100	0,79 b	0,24 b
0	1,05 a	0,39 a
DES (cm)		
40	0,68 b	0,25 b
80	1,15 a	0,37 a
Media general	0,91	0,31

Las interacciones cv*N, cv*DES, N*DES y cv*N*DES no mostraron efectos significativos (P>0,05). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey (P≤0,05)

Cuadro 6. Coeficientes de correlación entre los promedios de rendimiento, biomasa y sus componentes en frijol (*P. vulgaris*) para diferentes cultivares, dosis de N y distancias entre surcos

	BT	NG	NV	PCG	GV
RG	0,88***	0,72*	0,72*	-0,086NS	0,70*
BT		0,60 ns	0,59 ns	-0,008NS	0,56 ns
NG			0,99***	-0,74*	0,69*
NV				-0,75*	0,59 ns

BT=biomasa; RG=rendimiento de grano; NG=número de granos; NV=número de vainas con grano; PCG = peso de cien granos; GV=granos por vaina. ***,**,* indican efecto significativo, respectivamente, para P≤0,001; 0,01 y 0,05; ns=no significativo (P>0,05)

Relaciones entre el rendimiento en grano y sus componentes: En el Cuadro 6, se observa que la BT y los componentes NG, GV y el NV fueron los que presentaron una correlación alta con el RG (Escalante et al., 2013). Así mismo, el NG presentó una relación alta con el NV y en menor grado con GV, lo que indica que para lograr un RG más alto en frijol, se deben proponer estrategias para generar en orden ontogénico un mayor NV, GV y NG (Escalante et al., 2014). Por otra parte, la relación negativa entre el PCG con el NG, puede ser una respuesta general de las plantas, como consecuencia de que, dada una provisión determinada de asimilados, el aumento

de uno de los componentes induce una disminución en el otro. En este caso pudiera pensarse que hubo alta floración y cuajado que indujo alto NG de pequeño tamaño, o baja floración y cuajado que favoreció la formación de granos más grandes en frijol.

En resumen, estos resultados indican que reduciendo el espacio entre surcos y con la fertilización nitrogenada, se logra una productividad del agua más alta, mayor producción de biomasa, rendimiento en grano y de proteína del frijol, lo cual es de importancia sobre todo en la agricultura de régimen de lluvia. Dichos incrementos están relacionados con un mayor número de granos, granos por vaina y número de vainas (Escalante et al., 2013). Esta respuesta puede explicarse por una mayor cobertura del suelo por el cultivo, lo que conduce a mayor radiación interceptada, a que el agua disponible es utilizada principalmente en transpiración lo que se refleja en mayor producción de materia seca (Escalante, 1995; Barbieri et al., 2008).

La mayor extracción de nitrógeno es indicativo de una mayor absorción de este nutriente, que por lo general se relaciona con una mayor distribución y densidad radical estimulada por el nitrógeno (Escalante, 1995) y por tener las plantas más próximas entre surcos (Sharrat y Mc Williams, 2005). La extracción de nitrógeno y el rendimiento en grano presentaron una relación alta ($r=0,97^{**}$), que ratifica resultados previos presentados también para frijol por Escalante y Rodríguez (2009). Esto sugiere que para lograr alto rendimiento en frijol se requiere mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo y capacidad de la planta para extraer dicho nutriente.

Finalmente los resultados del presente estudio indican que bajo condiciones de régimen de lluvia y clima templado de altura, la producción de biomasa y rendimiento del frijol se puede incrementar reduciendo la distancia entre surcos y con la fertilización nitrogenada, no obstante el estrés hídrico a que está sometido el frijol como lo demuestra su bajo potencial de agua. Además de que la siembra de cultivares de hábito de crecimiento indeterminado arbustivo, puede ser apropiada para lograr elevar el rendimiento, puesto que al ocupar mayor tiempo el espacio, tienen mayor oportunidad de captar radiación solar y convertirla en materia seca como fue el caso del frijol Michoacán.

CONCLUSIONES

El frijol Michoacán de hábito indeterminado arbustivo supera en radiación interceptada, biomasa, extracción de nitrógeno, rendimiento en grano y de proteína al frijol Cacahuete de hábito determinado.

La reducción de la distancia entre surcos de siembra y la fertilización nitrogenada en frijol elevan la productividad del agua, radiación interceptada, biomasa, extracción de nitrógeno, rendimiento en grano y de proteína.

El número de vainas y número de granos son los componentes de mayor relación con el rendimiento en grano.

LITERATURA CITADA

1. Barbieri, P.A., H. E. Echeverría, H. R. Saínz Rozas y F. H. Andrade 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agron. J.* 100(4): 1094-1100.
2. Barrios, D.E., C. López C. y J. Kohashi S. 2011. Relaciones hídricas y temperaturas altas en frijol del tipo Flor de Mayo. *Agronomía Costarricense* 35(1):131-135.
3. Bennink, M. 2005. Eat beans for good health. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 48:1-5.
4. Borja, B.M. y J.A. García. 2008. Políticas para disminuir las importaciones de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: un análisis por tipo de variedad. *Agrociencia* 42(8): 949-958.
5. Díaz-López, E., E.J. Morales-Rosales, O. Franco-Mora y A. Domínguez-López. 2011. Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del fósforo. *Terra Latinoamericana* 29(1): 65-72.
6. Eckert, F.R., H.J. Kandel, B.L. Johnson, A. Rojas-Cinfuentes, A.J. Vander Wal, Ch. Deplazes y J.M. Osorno. 2009. Row spacing and nitrogen fertilization effect on architectural traits and yield loss of dry bean varieties under direct harvest. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 52 (1): 126-127.
7. Eckert, F.R., H.J. Kandel, B.L. Johnson, A. Rojas, A.J. Vander Wal, Ch. Deplazes y J.M. Osorno. 2010. Row spacing and nitrogen fertilization effect on seed yield and yield loss of pinto bean cultivars under direct harvest. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 53 (1):132-133.
8. Escalante, J.A. 1995. Nitrógeno y salinidad y sus efectos sobre el crecimiento del girasol. *Terra Latinoamericana* 13(3): 376-384.
9. Escalante, J.A. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. *Terra Latinoamericana* 19(1): 19-27.
10. Escalante, J.A. y J. Kohashi. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. 84 p.
11. Escalante, J.A. y J. Kohashi. 1995. Best usage of natural resources and yield with high population in *Phaseolus vulgaris* L. under rainfed conditions. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 38(1): 48-49.
12. Escalante, J.A., M.T. Rodríguez y E. Escalante. 1999. Efecto del nitrógeno en la producción y abscisión de órganos reproductivos en frijol. *Agronomía Mesoamericana* 10(1): 47-53.
13. Escalante, J.A., E. Escalante y M.T. Rodríguez. 2001. Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades de calor y radiación solar en clima cálido. *Terra Latinoamericana* 19(4): 309-315.
14. Escalante, J.A. y M.T. Rodríguez. 2009. Rendimiento, eficiencia agronómica, extracción de nitrógeno en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y prácticas agrícolas. In: J. Galdámez, F. Guevara, L. Soto, J. López y M. Vázquez (Comp.). *Agricultura Sostenible Vol. 6.* Univ. Autónoma de Chiapas y Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. México. pp.1-6.
15. Escalante, J.A. y M.T. Rodríguez. 2010. Biomasa, índice de cosecha y componentes del rendimiento en frijol y nitrógeno. *Revista Ciencias Agrícolas Informa* 19(1): 5-11.
16. Escalante, J.A., M.T. Rodríguez y Y.I. Escalante. 2013. Aplicación dividida de nitrógeno, su efecto sobre la eficiencia agronómica, rendimiento y componentes en frijol. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 1(1): 52-55.
17. Escalante, J.A., M.T. Rodríguez y Y.I. Escalante. 2014. Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*

- 2(1): 1-8.
18. Faria, V.R., C.M. Ferreira y T.J. de Paula. 2005. Fungicide, row widths and plant densities affecting white mold intensity. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 48(1): 128-129.
19. Fageria, N.K. y A.B. Santos. 2008. Yield physiology of dry beans. *J. Plant Nutrition* 31 (6): 983-1004.
20. García, E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. UNAM. México, D.F. 217 p.
21. Grafton, K.F., A.A. Schneiter y B.J. Nagle. 1988. Row spacing, plant population and genotype x row spacing effects on yield and yield components of dry beans. *Agron. J.* 80(4): 631-634.
22. Jiménez, G.J. y G.J. Acosta. 2013. Efecto de la densidad a simple y doble hilera en el rendimiento de frijol de temporal en Chihuahua México. *Rev. Méx. Cienc. Agric.* 4(3): 393-407.
23. Manzoor, A., A.Khaliq, R. Ahmad y A. Muhammad. 2010. Allometry and productivity of autumn planted maize hybrids under narrow row spacing. *Int. J. Agric. Biol.* 12(4): 661-666.
24. Medeiros, C.C., V.P. Vargas, C.A. Souza, T. Pereira y J.C. Santos. 2009. Cooking quality of common beans as influenced by different nitrogen levels and time of application. *Int. J. Agric. Biol.* 11(3): 261-265.
25. Olalde, G.V., J.A. Escalante, P. Sánchez, L. Tijerina, E.M. Engleman y A. Mastache. 2000. Eficiencia en el uso del agua, nitrógeno y rendimiento del girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra Latinoamericana* 18(1): 51-59.
26. Osuna-Ceja, E., L. Reyes-Muro, J. Padilla-Ramírez y M.A. Martínez-Gamiño. 2012. Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(3): 1389-1400.
27. Pervez, M.A., C.M. Ayub, B.A. Saleem, N.A. Virk y N. Mahmood. 2004. Effect of nitrogen levels and spacing on growth and yield of radish (*Raphanus sativus* L.). *Int. J. Agri. Biol.* 6(3): 504-506.
28. Reta, S.D., J.A. Cueto, A. Gaytán y J. Santamaría. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en maíz forrajero en surcos estrechos. *Agric. Téc. Méx.* 33(2): 145-151.
29. Robles, B.H. 2013. Los pequeños productores y la política pública. Subsidios al campo en México. Fundar, México. <http://www.Subsidiosalcampo.org.mx> (consulta del 06/01/2015).
30. SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2007 y 2013. Anuarios Estadísticos de la Producción Agrícola. D.F. México. <http://www.sagarpa.gob.mx> (consultas del 27/02/2007 y 06/01/2015).
31. Scholander, P., E.D. Bradstreet, E.A. Hemmingsen y H.T. Hammel. 1965. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148(3668): 339-346.
32. Sharrat, B.S. y D.A. Mc Williams 2005. Microclimatic and rooting characteristics of narrow-row versus conventional-row corn. *Agron. J.* 97(4): 1129-1135.
33. Soltero, D.L., C. Garay-López y J.A. Ruíz-Corral. 2010. Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(2): 149-158.
34. White, J. W. y J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. *In: A. Van Schoonhoven y O. Voysest (eds.). Common Beans: Research for Crop Improvement.* CAB International. Wallingford, U.K. pp. 287-382.