

## RELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR Y RENDIMIENTO EN FRIJOL BAJO CONDICIONES DE SECANO\*

### RELATIONSHIP BETWEEN THE LEAF AREA INDEX AND YIELD OF DRY BEAN GROWN UNDER RAINFED CONDITIONS

Efraín Acosta Díaz<sup>1§</sup>, Jorge Alberto Acosta Gallegos<sup>2</sup>, Mario Domingo Amador Ramírez<sup>3</sup> y José Saúl Padilla Ramírez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Frijol, Campo Experimental General Terán, INIFAP. km 31 carretera Montemorelos-China. Apartado Postal 3. C. P. 67400 General Terán, Nuevo León, México. <sup>2</sup>Programa de Frijol, Campo Experimental Bajío, INIFAP. <sup>3</sup>Programa de Malezas Campo Experimental Calera, INIFAP. <sup>4</sup>Programa de Frijol, Campo Experimental Pabellón, INIFAP. §Autor para correspondencia: acostaebrain@yahoo.com.mx.

#### RESUMEN

Las hojas de frijol son uno de los órganos más afectados por la escasez de lluvia. El objetivo de la presente investigación fue determinar la relación entre el índice de área foliar y rendimiento de grano en diferente etapas fenológica de frijol sembrado bajo condiciones de secano. En el verano de 2002 se seleccionaron seis localidades en tres regiones productoras de frijol del estado de Zacatecas, México: cuatro en la región noroeste, una en la centro y una en la sureste, en las que se siembran variedades criollas de los tipos Negro San Luis, Flor de Junio y Flor de Mayo, respectivamente. En cada localidad se seleccionaron ocho campos y dentro de cada uno de ellos se delimitaron cuatro parcelas de dos surcos de 5 m de longitud. Se determinó el índice de área foliar (IAF) en cuatro etapas fenológicas: a) inicio de floración, b) inicio de formación de vaina, c) inicio de llenado de grano y d) intermedia de llenado de grano. A la madurez fisiológica se evaluó el rendimiento de grano. La relación entre el índice de área foliar y el rendimiento se calculó mediante correlaciones simples en cada etapa. En general, el IAF promedio se incrementó con el desarrollo de las etapas fenológicas, obteniéndose los valores más altos al inicio del llenado de grano. El rendimiento promedio de las variedades varió entre localidades: 130 g m<sup>-2</sup> en la región noroeste con variedades criollas del tipo Negro San Luis, 139 g m<sup>-2</sup> en la centro con tipo Flor de Junio y 95 g m<sup>-2</sup> en el sureste con tipo Flor de Mayo.

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris* L., hábito de crecimiento Tipo III, potencial de rendimiento, índice de área foliar.

\* Recibido: Febrero de 2006  
Aceptado: Enero de 2008

#### ABSTRACT

The leaves of the bean plant are one of the organs more affected by intermittent drought stress. The objective of this research was to determine the relationship between the leaf area index and seed yield at four phenological stages in dry bean cultivars of different grain type grown under rainfed conditions. The study was conducted in the main three producing areas in the state of Zacatecas, Mexico, during the summer of 2002 at six locations: four in the northwestern area, sown with a cv. Negro San Luis type; one in the central region, with a cv. of the Flor de Junio type and one in the southeastern region, with a cv. of the Flor de Mayo type. In each location, eight fields were chosen and in each two rows of 5 m longitude with four replications. Four leaf area index samplings were made at four phenological stages: at the beginning of flowering, beginning of pod formation, beginning seed filling, and intermediate seed filling. Seed yield was determined at physiological maturity. The relationship between the leaf area index at different stages and seed yield was determined by simple correlations. In general, average leaf area index increased with the development of the phenological stages, the highest values were observed at the beginning of the seed filling stage. Average seed yield varied among locations: 130 g m<sup>-2</sup> at the northwestern region with cv. Negro San Luis type, 139 g m<sup>-2</sup> at central with cv. Flor de Junio type and 95 g m<sup>-2</sup> at southwestern with cv. Flor de Mayo type.

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L., growth habit type III plant, yield potential, leaf area index.

## INTRODUCCIÓN

En el estado de Zacatecas anualmente se siembran alrededor 700 000 ha de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), de las cuales 85% se efectúan bajo condiciones de secano durante ciclo primavera-verano, predomina la utilización de variedades criollas de hábito de crecimiento indeterminado Tipo III y con diferente clase de grano, entre ellas: Negro San Luis, Flor de Junio y Flor de Mayo (Pérez-Trujillo, 1998). Las variedades Tipo III son de hábito de crecimiento indeterminado y guía corta, ciclo intermedio a tardío y sensibles al fotoperíodo (White y Laing, 1989; Singh *et al.*, 1991), con características morfológicas particulares. Negro San Luis tiene el tallo principal con ramas basales cortas, flores moradas, floración a 60 días después de la siembra y ciclo de 100 días a la cosecha. Las variedades Flor de Junio y Flor de Mayo poseen el tallo principal con ramas basales cortas, flores moradas, floración a 50 días después de la siembra y ciclo de 90 días a la cosecha (Pérez-Trujillo, 1998).

En Zacatecas, la siembra se realiza en tierras marginales con régimen de precipitación insuficiente y errática, por lo que con frecuencia se presenta sequía intermitente (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989). Además de la sequía concurren otros factores que limitan la producción de frijol, tales como: incidencia de enfermedades y plagas, baja fertilidad del suelo y erosión hídrica y eólica (Ortiz-Valdés, 1998). En el estado de Zacatecas, el frijol se cultiva en tres regiones agro-ecológicas que difieren en potencial productivo, determinado este con base a la información meteorológica y calidad de suelo: región noroeste a) mayor potencial productivo, b) central, potencial intermedio y c) sureste, menor potencial.

Uno de los procesos fisiológicos más sensibles al déficit hídrico en el frijol es el desarrollo foliar, ya que su efecto reduce el área foliar y acelera la senescencia de las hojas maduras (Davies y Zhang, 1991). A nivel experimental se ha demostrado que la acumulación de materia seca a la cosecha y el índice de área foliar (IAF) son características que se relacionan estrechamente con el rendimiento en frijol (Acosta-Gallegos y Adams, 1991). Sin embargo, la determinación de materia seca e IAF se efectúa por medio de métodos destructivos lo cual implica restricciones operativas. Así mismo, la materia seca se determina cuando las plantas han alcanzado la madurez fisiológica, es decir, hasta que el cultivo termina el ciclo biológico y además, este procedimiento demanda gran cantidad de mano de obra y es necesario contar con un medidor electrónico de

área (Galván *et al.*, 2003). En la actualidad existen métodos alternativos para estimar el IAF (Padilla-Ramírez *et al.*, 2005): uno de ellos es el “directo”, el cual consiste en obtener una muestra de trifolios centrales de las plantas en un área determinada, se mide el área foliar en un integrador electrónico el cual determina el peso seco de los trifolios; con la relación entre estas dos variables se estima el área foliar de planta y se obtiene el IAF.

Otro método no destructivo, pero que requiere el uso de un ceptómetro lineal, con el cual se estima con buena precisión el IAF en diferentes etapas del cultivo. Este equipo se ha utilizado en maíz, en el que se obtuvieron coeficientes de correlación entre el IAF y el rendimiento superiores a 0.9 bajo condiciones de riego (Wilhelm *et al.*, 2002; Báez-González *et al.*, 2002; Báez-González *et al.*, 2005).

El IAF permite estimar la capacidad fotosintética de las plantas y puede ayudar a entender la relación entre la acumulación de biomasa, rendimiento bajo diferentes condiciones ambientales y manejo de diferentes variedades de frijol bajo condiciones de secano en las tres regiones agro-ecológicas del estado de Zacatecas, en las cuales la precipitación es el principal factor limitante de la producción. Determinar la relación entre el IAF y rendimiento de grano, podría ser una herramienta útil para el desarrollo de modelos precisos de predicción de cosecha. El objetivo de la presente investigación fue determinar la relación entre el índice de área foliar (IAF) y rendimiento de frijol en tres etapas de desarrollo fenológico bajo condiciones de secano en las tres regiones productoras del estado de Zacatecas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en verano de 2002, en las regiones noroeste, centro y sureste del estado de Zacatecas, México, con las variedades criollas tipo Negro San Luis, Flor de Junio y Flor de Mayo, respectivamente, bajo condiciones de secano.

Se realizaron recorridos de campo en las tres regiones y se seleccionaron seis sitios: cuatro en la región noroeste y uno en cada una de las regiones centro y sureste; cada sitio con extensión mínima de 300 ha. Los sitios seleccionados se ubicaron en: colonia Emiliano Zapata y Ex Hacienda Zaragoza, municipio de Sombrerete, colonia Progreso, municipio de Río Grande y Campo 1 de la colonia Menonitas, municipio de Miguel Auza en la región noroeste; ejido Nopales

Altos, municipio de Morelos, en la región centro y en el ejido La Tesorera, en el municipio de Pánfilo Natera, en la región sureste.

En cada localidad se seleccionaron ocho campos al azar y en cada uno de ellos, cuatro parcelas de dos surcos de 5 m de largo (repeticiones), de acuerdo con los siguientes criterios: tamaño representativo de las parcelas; etapa fenológica similar y homogeneidad en el desarrollo del cultivo (las plantas debían encontrarse próximas al inicio de floración); accesibilidad al sitio, así como que las variedades sembradas fueran del mismo tipo de grano. Con este último criterio, las variedades criollas estuvieron representadas por Negro San Luis región noroeste; Flor de Junio región centro y Flor de Mayo región sureste. La distancia entre surcos fue de 76 cm en las tres regiones y la densidad de población varió de 38 000 a 69 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en las variedades de grano negro y de 57 000 a 83 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en las variedades Flor de Mayo y Flor de Junio.

Durante el desarrollo del cultivo se determinó la densidad de población y el índice de área foliar (IAF). La determinación del IAF se realizó en cuatro etapas fenológicas, con un ceptómetro lineal (DECAGON, Modelo 80 con Datalogger de 48 K). El procedimiento consistió en medir la intensidad lumínica sobre y debajo del dosel del cultivo (Goudriaan y Van Laar, 1994). El intervalo entre las etapas fenológicas fue de 10 días, los cuales correspondieron a inicio de floración, inicio de formación de vainas, inicio de llenado de grano e intermedia de llenado de grano. A la madurez fisiológica del cultivo se cuantificó el rendimiento de grano en dos surcos de 5 m de largo en las cuatro repeticiones utilizadas para la estimación del IAF, el cual se transformó a  $\text{g m}^{-2}$ . Posteriormente, se calculó el índice de cosecha con la fórmula utilizada por Schneider *et al.* (1997) y Ramírez-Vallejo y Kelly (1998).

Se obtuvieron datos de precipitación diaria de la base de datos de las estaciones meteorológicas cercanas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Zacatecas (Medina-González y Ruiz, 2004).

Los datos de las variables evaluadas se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) con el paquete estadístico MSTATC (Freed *et al.*, 1991), en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) a 0.05 de nivel de significancia. Se realizaron correlaciones simples de Pearson entre el IAF en cada una de las etapas fenológicas y el rendimiento de grano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Índice de área foliar

Se observaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre etapas fenológicas en las seis localidades, tanto con las variedades de grano negro como en las de grano claro. El IAF de las variedades varió de acuerdo con las condiciones ambientales que se presentaron en cada región durante el desarrollo del cultivo, manejo agronómico por parte de los productores y la interacción ambiente x manejo en cada localidad. El IAF de las variedades, tanto de grano negro como de grano claro se incrementó en función de la etapa fenológica, obteniéndose los valores más altos al inicio de llenado del grano (20 días después del inicio de floración); posteriormente, los valores se incrementaron en menor proporción en la etapa intermedia de llenado del grano (Cuadro 1). El menor incremento del IAF en la etapa intermedia de llenado de grano, se debió, en parte, a los cambios y ajustes efectuados en la relación fuente-demanda, lo que indica que las estructuras vegetativas que componen el vástago, así como las hojas, desempeñan un papel importante como fuentes de fotosintatos, mientras que las vainas y semillas actúan como órganos de demanda (D'Souza y Coulson, 1988). El menor incremento del IAF en la etapa intermedia de llenado de grano, pudo deberse a que las estructuras reproductivas demandan fotosintatos (Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998).

En general, los valores del IAF observados en las cuatro etapas fenológicas en las seis localidades de las tres regiones agro-ecológicas del estado de Zacatecas, tanto en las variedades de grano negro como en las de grano claro obtenidos en la presente investigación fueron bajos en comparación con los consignados con otras variedades de frijol bajo condiciones de temporal en la región del altiplano semiárido de México (Acosta-Gallegos y Kohashi-Shibata, 1989) y bajo condiciones de riego en la región del trópico húmedo de América Central (White e Izquierdo, 1989). Sin embargo, los valores fueron superiores a los reportados con frijol bajo condiciones de secano en la región del Llano, en el estado de Aguascalientes (Padilla-Ramírez *et al.*, 2005).

El promedio más alto de IAF observado en algunas localidades de la región noroeste, además de relacionarse con las condiciones ambientales favorables, tales como la cantidad y distribución de la precipitación, se debió al manejo por parte de los productores, tal es el caso de las localidades de Emiliano Zapata y Zaragoza región noroeste,

**Cuadro 1. Índice de área foliar promedio de variedades criollas de frijol de diferente tipo de grano en cuatro etapas fenológicas del cultivo en seis localidades del estado de Zacatecas, México. 2002.**

Localidad	Etapa fenológica			
	Inicio de floración	Inicio de formación de vaina	Inicio de llenado de grano	Intermedio de llenado de grano
Grano negro				
Emiliano Zapata	1.06 ( $\pm 0.20$ )	1.45 ( $\pm 0.18$ )	1.60 ( $\pm 0.25$ )	1.37 ( $\pm 0.17$ )
Zaragoza	1.12 ( $\pm 0.16$ )	1.21 ( $\pm 0.25$ )	1.54 ( $\pm 0.26$ )	1.22 ( $\pm 0.24$ )
Progreso	1.30 ( $\pm 0.23$ )	1.17 ( $\pm 0.16$ )	1.29 ( $\pm 0.23$ )	1.03 ( $\pm 0.18$ )
Miguel Auza	0.96 ( $\pm 0.16$ )	0.85 ( $\pm 0.15$ )	1.17 ( $\pm 0.13$ )	1.17 ( $\pm 0.11$ )
Promedio	1.11	1.17	1.37	1.19
Grano claro				
Morelos	0.85 ( $\pm 0.17$ )	1.09 ( $\pm 0.20$ )	1.35 ( $\pm 0.19$ )	0.91 ( $\pm 0.18$ )
Pánfilo Natera	0.81 ( $\pm 0.22$ )	1.06 ( $\pm 0.15$ )	1.19 ( $\pm 0.25$ )	1.17 ( $\pm 0.23$ )
Promedio	0.83	1.07	1.27	1.04

( )= Desviación estandar.

en donde se registró la mayor densidad de población en comparación con la obtenida en localidad de Progreso de la misma región (Cuadro 2). Lo anterior no se observó en las localidades, de Miguel Auza región noroeste, Morelos y Pánfilo Natera, correspondientes a las regiones centro y sureste, respectivamente.

### Rendimiento de grano

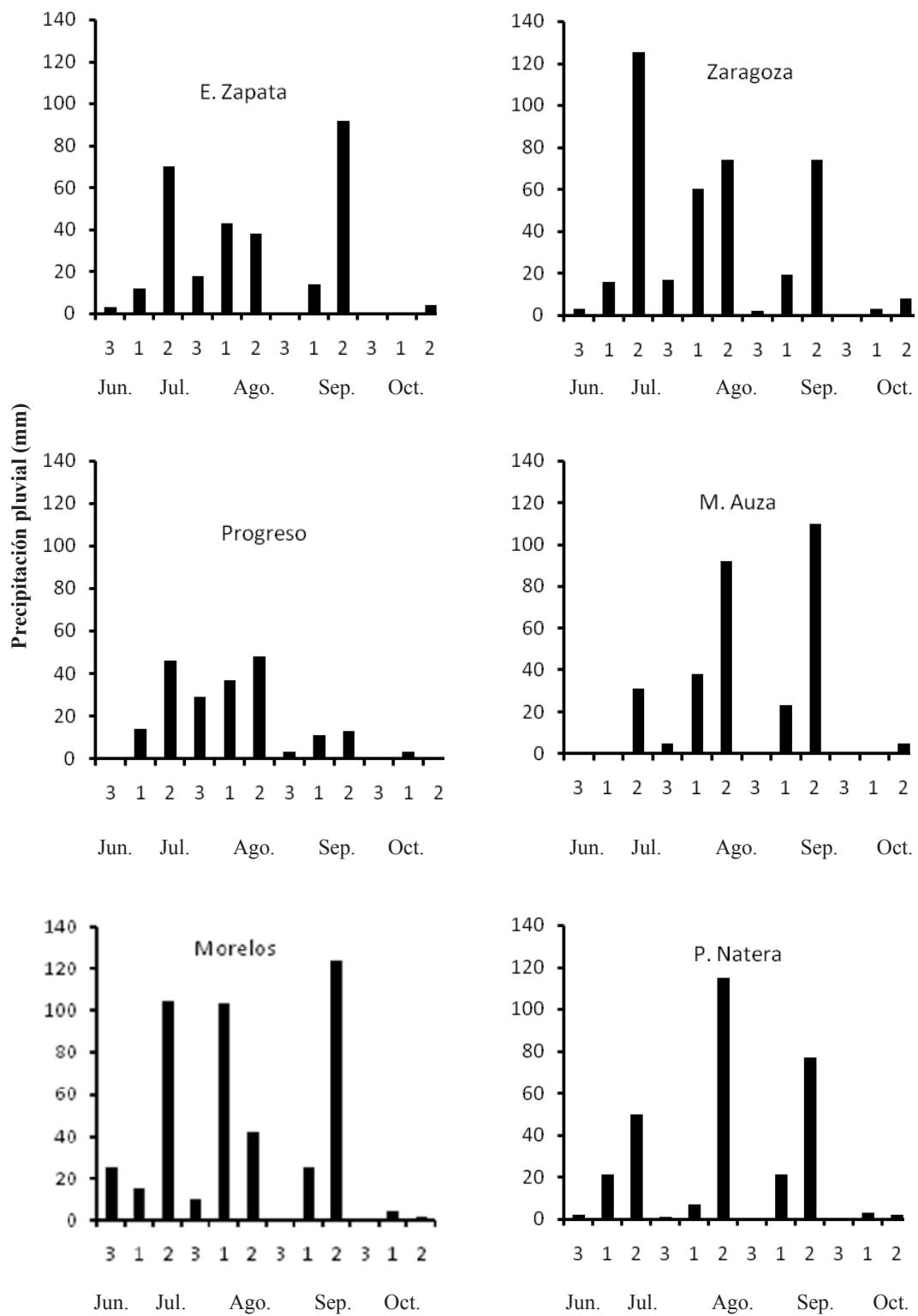
Se observaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre localidades para el rendimiento de grano. Con base en el rendimiento promedio, las localidades se agruparon de mayor a menor en el siguiente orden: a) Emiliano Zapata, b) Zaragoza, c) Morelos, d) Progreso,

e) Pánfilo Natera y f) Miguel Auza (Cuadro 2). Las diferencias se debieron a la cantidad y distribución de la precipitación registrada durante el período comprendido de la tercera decena de junio y la segunda decena de octubre (Figura 1). Las diferencias en rendimiento entre localidades indican que aún cuando se trate de variedades del mismo tipo de grano, podría existir diversidad genética en el material criollo para el potencial de rendimiento, tanto en las variedades de grano negro como en las de grano claro; sin embargo, no se descarta la posibilidad que las diferencias observadas entre localidades, podría deberse al diferente manejo agronómico en fecha de siembra, densidad de población (Cuadro 2), nivel de fertilidad del suelo, entre otros.

**Cuadro 2. Rendimiento de grano y características agronómicas de variedades criollas de frijol de diferente tipo de grano en seis localidades del estado de Zacatecas, México. 2002.**

Localidad	Rendimiento ( $\text{g m}^{-2}$ )	Densidad de población (plantas $\text{m}^{-2}$ )	Índice de cosecha (%)	Peso de 100 granos (g)
Grano negro				
Emiliano Zapata	175.8 ( $\pm 15.94$ )	5.0 ( $\pm 1.61$ )	55.6 ( $\pm 2.32$ )	28.4 ( $\pm 1.82$ )
Zaragoza	147.1 ( $\pm 18.62$ )	6.9 ( $\pm 2.06$ )	45.7 ( $\pm 8.03$ )	29.4 ( $\pm 2.32$ )
Progreso	104.1 ( $\pm 14.57$ )	3.8 ( $\pm 1.04$ )	41.0 ( $\pm 3.34$ )	30.9 ( $\pm 1.73$ )
Miguel Auza	93.3 ( $\pm 15.26$ )	7.6 ( $\pm 1.69$ )	37.9 ( $\pm 5.50$ )	30.8 ( $\pm 1.90$ )
Promedio	130.07	5.82	45.05	29.87
Grano claro				
Morelos	139.5 ( $\pm 21.76$ )	8.3 ( $\pm 1.90$ )	55.9 ( $\pm 4.86$ )	31.1 ( $\pm 2.18$ )
Pánfilo Natera	95.2 ( $\pm 14.47$ )	5.7 ( $\pm 2.29$ )	54.3 ( $\pm 4.98$ )	29.5 ( $\pm 2.68$ )
Promedio	117.35	7.00	55.10	30.30

( )= Desviación estandar.



**Figura 1. Precipitación decenal registrada durante el desarrollo del frijol en seis áreas del estado de Zacatecas, México. 2002.**

La regionalización realizada por Ortiz-Valdés (1998) para frijol de secano en el estado de Zacatecas, en general coincidió con los resultados obtenidos en la presente investigación; sin embargo, en el análisis detallado del rendimiento promedio en las cuatro localidades de la región noroeste, se observaron rendimientos diferentes, lo que indica que aún dentro de una región homogénea, puede ser diferente.

### Relación entre el IAF y rendimiento de grano

Se observó una respuesta estadística diferencial entre las variedades y en las localidades de acuerdo con el tipo de grano y la etapa fenológica del cultivo. En las variedades de grano color negro las diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) se observaron en las etapas fenológicas de: inicio de floración, inicio de formación de vainas e intermedio de llenado del grano, en Emiliano Zapata; al inicio de la floración e inicio de formación de vainas, en Zaragoza y al inicio de llenado del grano, en Progreso. En tanto que con las variedades de grano claro las diferencias fueron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en la etapa de inicio de llenado del grano y en la intermedia de llenado de grano en las dos localidades y significativas ( $p \leq 0.03$ ) en las etapas de inicio de floración e inicio de formación de vainas, en Pánfilo Natera. En contraste, en Miguel Auza no se detectaron diferencias significativas para el coeficiente de correlación entre el IAF y rendimiento de grano en ninguna de las etapas fenológicas del cultivo, con las variedades de grano negro (Cuadro 3).

El rendimiento de diferentes variedades de frijol bajo condiciones de secano, puede estimarse con base en el IAF determinado en las etapas fenológicas de inicio de formación

de vainas e inicio de llenado de grano (10 y 20 días después del inicio de floración, respectivamente), mediante métodos directos no destructivos. Resultados similares fueron reportados en frijol bajo condiciones de secano en Aguascalientes (Padilla-Ramírez *et al.*, 2005), así como en maíz bajo condiciones de riego (Wilhelm *et al.*, 2000; Báez-González *et al.*, 2002; Báez-González *et al.*, 2005).

En general, se observó respuesta diferencial entre las etapas fenológicas en cinco localidades de las tres regiones. Esta respuesta podría atribuirse a las diferentes variedades cultivadas, así como a las condiciones meteorológicas y de manejo en cada localidad. Es importante mencionar que las condiciones de precipitación pluvial registradas en el verano de 2002 se pueden considerar como favorables para el cultivo de frijol de temporal en las tres regiones. La precipitación registrada influyó positivamente sobre el IAF y rendimiento de grano, el cual fue superior al promedio histórico reportado para el estado de Zacatecas. La relación entre el IAF y rendimiento de grano fue estadísticamente significativa en todas las localidades, excepto en Miguel Auza, donde se registró la menor precipitación pluvial con una distribución irregular durante el ciclo del cultivo (Figura 1) y se obtuvieron los menores rendimientos (Cuadro 2). De acuerdo con los resultados obtenidos en esta última localidad, se sugiere repetir este tipo de trabajo, en el cual además del IAF, se puede incluir la medición de otros parámetros tales como materia seca y radiación fotosintéticamente activa, para una mejor estimación del rendimiento.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que los valores de correlación entre el IAF y rendimiento son

**Cuadro 3. Coeficiente de correlación entre el índice de área foliar y el rendimiento de variedades criollas de frijol en cuatro etapas fenológicas del cultivo, en seis localidades del estado de Zacatecas, México. 2002.**

Localidad	Etapa fenológica			
	Inicio de floración	Inicio de formación de vaina	Inicio de llenado de grano	Intermedio de llenado de grano
Grano negro				
Emiliano Zapata	0.70 (0.00)	0.70 (0.00)	0.21 (0.25)	0.47 (0.01)
Zaragoza	0.21 (0.01)	0.21 (0.01)	0.22 (0.24)	.02 (0.91)
Progreso	0.10 (0.60)	0.10 (0.60)	0.44 (0.01)	0.18 (0.34)
Miguel Auza	0.08 (0.65)	0.08 (0.65)	0.03 (0.86)	0.27 (0.14)
Grano claro				
Morelos	0.24 (0.18)	0.24 (0.18)	0.70 (0.000)	0.57 (0.001)
Pánfilo Natera	0.39 (0.03)	0.39 (0.03)	0.78 (0.000)	0.80 (0.000)

( )= Probabilidad estadística.

bajos e inconsistentes, debido a que dicha relación podría estar influenciada por las condiciones ambientales, las variedades y la interacción de ambos factores, así como por el manejo del cultivo. Se ha determinado que la variabilidad en la producción de los cultivos en sistemas de producción de temporal es causada por la variabilidad del ambiente (Hoogenboon, 2000). Al respecto, Alexandery Hoogenboon (2000) observaron una alta correlación entre la precipitación y el rendimiento para maíz y trigo. En el presente trabajo, no obstante que la cantidad de precipitación registrada en todas las localidades fue suficiente, pero con distribución irregular en las localidades de Progreso y Miguel Auza en la región noroeste y Pánfilo Natera en la región sureste. En estas localidades, además de la distribución irregular de la precipitación durante el ciclo del cultivo, otros factores que pudieron influir en la expresión del rendimiento pudo ser la baja densidad de población, tanto para las variedades de grano negro como para las de grano claro (Cuadro 3).

## CONCLUSIONES

El índice de área foliar y rendimiento de grano en siembras comerciales de variedades criollas de frijol de diferente tipo de grano bajo condiciones de secano fueron mayores en las localidades Emiliano Zapata y Zaragoza, municipio de Sombrerete, en la región noroeste y Morelos en la región centro.

El índice de área foliar se relacionó positivamente con el rendimiento de las variedades criollas de frijol, tanto de grano negro como de grano claro en etapas previas a la madurez fisiológica, en la mayoría de las localidades de las regiones noroeste, centro y sureste del estado de Zacatecas.

## LITERATURA CITADA

- 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.* 117:213-219.
- Alexander V. A. and Hoogenboon, G. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agric. For Meteorol.* 104:315-327.
- Báez-González, A. D.; Chen, P.; Tiscareño-López, M. and Srinivasan, R. R. 2002. Usin satellite and field data with crop growth modeling to monitor and estimate corn yield in Mexico. *Crop Sci.* 42: 1943-1949.
- Báez-González, A. D.; Kiniry J., R.; Maas S., J.; Tiscareño-López, M.; Macias C., J.; Mendoza C., J. L.; Richardson, W.; Salinas G., J. and Manjares J., R. 2005. Large-area maize yield forecasting using leaf area index based yield model. *Agron. J.* 97:418-425.
- Davies W., J. and Zhang, J. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bio.* 42:55-76.
- D'Souza, H. A., and Coulson, C. L. 1988. Dry matter and its partitioning in two cultivars of *Phaseolus vulgaris* under different watering regimes. *Trop. Agric.* 65:179-181.
- Freed, R.; Eisensmith S., P.; Goetz, S.; Reicosky U., D.; Small, W. and Wolberg, P. 1991. User's guide to MSTAC. Michigan State University, East Lansing, Michigan.
- Galván-Tovar, M.; Kohashi-Shibata, J.; García-Esteve, A.; Yáñez Jiménez, P.; Martínez-Villegas, E. y Ruiz P., L. M. 2003. Déficit hídrico en planta, acumulación de biomasa y área foliar en tres etapas vegetativas en frijol común. *Agri. Téc. Méx.* 29(1):101-111.
- Goudriaan, J., and Van Lear, H. H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Current Issues in Production Ecology. Volume 2. Kluwer Academy Pub. The Netherlands. 233 p.
- Hoogenboon, G. 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agric. For Meteorol.* 103:137-157.
- Medina González, G. y Ruiz C., J. A. 2004. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Zacatecas (Período 1961-2003). Centro de Investigación Regional Norte Centro (CIRNOC)-Campo Experimental Zacatecas. 240 p. (Libro Técnico Núm. 1).
- Ortiz-Valdés, M. 1998. El frijol en el estado de Zacatecas. Gobierno del estado de Zacatecas. Zacatecas, Zacatecas. México. 183 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

- (SARH), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Calera. 40 p. (Folleto para productores Núm. 1).
- Pérez T., H. y Galindo G., G. 2003. Situación socioeconómica de los productores de frijol de temporal en Zacatecas. *Terra Latinoamericana*. 1(1):137-147.
- Ramírez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. 1998. Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica* 99:127-136.
- 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.
- Wilhelm, W. W.; Ruwe, K. and Schlemmer M., R. 2002. Comparison of three leaf index meters in a corn canopy. *Crop Sci.* 40:1179-1183.
- White, J. W. and Laing, D. R. 1989. Photoperiod response of flowering in diverse genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Res.* 22:113-128.
- White, J. W. and Izquierdo J. 1989. Dry bean: Physiology and yield potential and stress tolerance. Centro Internacional de Agricultura Tropical. FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean. Santiago, Chile. p. 5-10.