Agronomía Trop. 56(1): 21-42. 2006

ÁREA FOLIAR, COMPONENTES DEL ÁREA FOLIAR Y RENDIMIENTO DE SEIS GENOTIPOS DE CARAOTA[1]

Rosemary Warnock*, Jagger Valenzuela, América Trujillo*, Petra Madriz* y Margaret Gutiérrez*****

RESUMEN

Los modelos de simulación agroambientales son poderosas herramientas para evaluar escenarios de producción agrícola en forma cuantitativa, pero requieren información de área foliar (ÁF) del cultivo que en Venezuela es escasa. En este estudio se presentan datos de ÁF y de sus componentes, así como de rendimiento, obtenidos de experimentos en campo con seis genotipos de caraota, *Phaseolus vulgaris* L., sembrados durante el mes de noviembre del año 2001, en las localidades de Maracay (MCY) y Samán Mocho (SM) en dos tipos de suelos contrastantes y representativos de la Cuenca del Lago de Valencia. La metodología de campo utilizada permitió la obtención de un conjunto de datos de ÁF confiables y representativos de los genotipos evaluados. Los genotipos DP-01-98-007 y Magdaleno tuvieron mayor grado de crecimiento indeterminado en ambas localidades, el cual se manifestó hasta en el estadio de plena formación de granos (R6). Número, longitud y ancho máximo de folíolos, por sus altas correlaciones con ÁF, pueden ser utilizadas para estimaciones de ÁF mediante el procedimiento de regresión. En SM, las variables componentes del ÁF y los rendimientos (50%) fueron superiores que en MCY. Los genotipos MEM-01-00-16 en SM y AM-03-00-06 en MCY alcanzaron los mayores rendimientos finales y también se destacaron a lo largo del ciclo del cultivo con valores altos de número de folíolos totales por planta, longitud de folíolos, ancho máximo de folíolos y ÁF, en cambio el genotipo usado como testigo, Magdaleno, ocupó los valores más bajos.

Palabras Clave: *Phaseolus vulgaris* L.; caraota; área foliar; índice de área foliar; componentes del área foliar; rendimiento.

---

1 Trabajo parcialmente financiado por Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH, Proyecto PG-01-30-4537-99) y Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT, Proyecto S1-2001001016).

* Profesoras e **Ing. Agrónomo. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4579. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela. E-mail: warnockr@agr.ucv.ve

*** Investigadora. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: octubre 03, 2005.

LEAF AREA, LEAF AREA COMPONENTS AND YIELD OF SIX BEAN GENOTYPES

Rosemary Warnock*, Jagger Valenzuela, América Trujillo*, Petra Madriz* y Margaret Gutiérrez*****

SUMMARY

Simulation models are powerful tools for quantitatively evaluating agricultural production scenarios, but they require leaf area information for the crop to be simulated, which in Venezuela is scarce. Data is presented for leaf area, leaf area components and yield obtained from field experiments planted with six bean, *Phaseolus vulgaris* L., genotypes on November 2001 in Maracay (MCY) and Saman Mocho (SM), Venezuela, using two contrasting soil types which are representative of the Valencia Lake basin. The field methodology employed allowed the procurement of reliable and representative sets of leaf area data for the genotypes evaluated. Genotypes DP-01-98-007 and Magdaleno exhibited a greater degree of indeterminate behaviour in both sites, being displayed as late as the stage of full grain formation (R6). Number, length and maximum width of leaflets may be used for estimating leaf area through regression procedures, due to their high correlations with leaf area. In SM the values of the components of leaf area and yield (50%) were higher than in MCY. Genotypes MEM-01-00-16 in SM and AM-03-00-06 in MCY had the highest final yield values and superior values during the growth cycle for the variables total number of leaflets per plant, leaflet length, leaflet maximum width and leaf area, whereas the genotype used as control, Magdaleno, had the lowest values.

Key Words: *Phaseolus vulgaris* L.; bean; leaf area; leaf area index; leaf area components; yield.

---

1 Trabajo parcialmente financiado por Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH, Proyecto PG-01-30-4537-99) y Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT, Proyecto S1-2001001016).

* Profesoras e **Ing. Agrónomo. Universidad Central de Venezuela (UCV). Facultad de Agronomía. Instituto de Agronomía. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4579. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela. E-mail: warnockr@agr.ucv.ve

*** Investigadora. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Av. Universidad, vía El Limón. Apdo. 4653. Maracay. 2101. Aragua. Venezuela.

RECIBIDO: octubre 03, 2005.

INTRODUCCIÓN

El área foliar (ÁF) alcanzada por una planta durante ciertos estadios específicos del desarrollo es un dato indispensable para la calibración, adaptación y en general para la aplicación racional de los modelos de simulación agroambientales. Es bien conocido que la magnitud del ÁF define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (RFA), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios. En el modelo CROPGRO-Bean (Tsuji *et al*., 1994), uno de los más difundidos a nivel mundial para simular el crecimiento de caraota, a partir del índice de área foliar (ÍÁF), se estima fotosíntesis y rendimiento final. Aún cuando en el mundo los modelos de simulación son utilizados con éxito como herramientas predictivas de la adaptabilidad de cultivos a diferentes ambientes (Boote *et al*., 1996, 2001; Egli y Bruening, 1992; Jame y Cutforth, 1996; Pedersen y Lauer, 2002; Rosenzweig e Iglesias, 1998; Ruiz-Nogueira *et al*., 2001; Villalobos y Retana, 2004), en Venezuela, para el cultivo de caraota, la carencia de información de ÁF de buena calidad limita el uso de esta herramienta.

Además, en los modelos mecanicistas de cultivos, el ÁF es una variable de importancia principal para el modelaje de los mecanismos de intercambio de agua y energía que ayuda a comprender las interacciones cultivo-ambiente (Barradas *et al*., 1999; Dapaah *et al*., 2000; Gomes *et al*., 2000; Jesus *et al*., 2001; Lieth y Reynolds, 1984; Tsubo y Walker, 2002). En los estudios clásicos de análisis de crecimiento, el ÁF, junto con variables de peso seco de biomasa, número de nudos y ramas, y altura de tallos, puede ser utilizada para describir un resumen de los procesos fisiológicos principales del cultivo y para calcular otros índices derivados como ÍÁF, intensidad de crecimiento relativo (ICR) y área foliar específica (ÁFE), entre otros.

Dentro de una misma especie las diferentes variedades, razas, cultivares o genotipos pueden exhibir variaciones significativas en su capacidad para interceptar la radiación solar porque ello depende de la magnitud del ÁF, del arreglo espacial de las hojas y de la evolución de los estadios fenológicos, es decir de los cambios fisiológicos y morfológicos por los que atraviesa la planta durante su ciclo ontogenético (Boote *et al*., 2001; Singh, 1991 y White, 1985).

Por ser Venezuela un importante centro de diversificación de genotipos del género *Phaseolus*, en el territorio nacional se encuentran diversos

materiales promisorios que requieren ser caracterizados en cuanto a la dinámica de su ÁF y capacidad productiva (Gutiérrez *et al*., 2004; Solano, 2005). En consecuencia, actualmente se están realizando investigaciones con genotipos locales colectados por investigadores del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en varias localidades de Venezuela. Igualmente, se conducen evaluaciones agronómicas de estos materiales con fines de identificar individuos sobresalientes para su uso directo por los agricultores.

Estos estudios forman parte de varios proyectos más amplios relacionados con la evaluación agronómica de genotipos del género *Phaseolus*, para los cuales no existen antecedentes de cuantificación del ÁF y rendimientos. Se pretende por tanto generar información de campo, bajo condiciones de crecimiento óptimo y que reúna los requisitos para ser utilizada como información de referencia para el modelo CROPGRO-Bean, que permita: a) caracterizar y señalar el ÁF de seis genotipos durante cinco estadios significativos de desarrollo; b) determinar y evaluar las variables componentes del ÁF; c) determinar rendimiento; d) estudiar las relaciones y correlaciones entre ÁF, componentes del ÁF y rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron ensayos a salida de lluvias con riego suplementario, en dos localidades, Maracay (MCY), estado Aragua y Samán Mocho (SM), estado Carabobo, en ambos casos en estaciones experimentales pertenecientes a la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. En MCY, se sembró el 16 de noviembre del año 2001 en el Campo Experimental del Instituto de Agronomía (10º 15' latitud norte y 67º 36' longitud oeste, altitud 447 m.s.n.m.) y se cosechó el 31 de enero de 2002. En SM, la siembra se realizó el 1 de noviembre del mismo año en la Estación Experimental Samán Mocho (10º 05' 58" latitud norte y 67º 51' 40" longitud oeste, altitud 425 m.s.n.m.) y la cosecha el 3 y 11 de enero de 2002.

Características Edafoclimáticas

En MCY los suelos son de origen aluvial, franco arenosos a francos arcillo-limosos, heterogéneos; Tortoza (1997) los clasifica como Fluventic Ustropepts, limosa,gruesa, mixta isohipertérmica. En SM son

de origen lacustrino, calcáreos con alto contenido de carbonato de calcio y permeabilidad y drenaje interno rápido, con predominio de las familias Typic Ustifluvents francosa gruesa carbonatica isohipertermica y Mollic Ustifluvents francosa gruesa mixta isohipertermica (Borges *et al*., 1982). Ambos campos experimentales se ubican dentro de la cuenca del Lago de Valencia.

De acuerdo a los resultados de los análisis de muestras de suelos, éstos mostraron pH de alcalinidad ligera (6,48 en MCY y 6,95 en SM), contenidos de fósforo, potasio y bases intercambiables de calcio y magnesio altos y contenidos de hierro, cobre, zinc y manganeso bajos a muy bajos. En MCY la textura del suelo fue franco con bajo contenido de materia orgánica y nitrógeno, y en SM franco-limosa con alto contenido de materia orgánica y nitrógeno.

Las dos localidades se clasifican dentro de la zona de vida (Ewel *et al*., 1976) de bosque seco premontano en transición con los bosques muy seco y seco del piso tropical, los cuales presentan precipitación promedio anual comprendida entre 850 y 1 000 mm, distribuidas en dos estaciones bien definidas y época seca que se ubica en general entre diciembre a marzo. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 24 y 26 °C. Durante los ciclos de cultivo, las temperaturas máximas promedio estuvieron entre 31 y 32 °C, las mínimas entre 19 y 20 °C, la radiación entre 16 y 18 MJ m^{-2}, el fotoperíodo promedio alrededor de 11 h y la precipitación total entre 79 y 84 mm.

Material Vegetal

Se utilizaron cinco genotipos promisorios del género *Phaseolus* y la variedad comercial Magdaleno como testigo. Todos son de hábito de crecimiento indeterminado (Colmenares, 2004) y semilla de color negro. Los genotipos promisorios representan selecciones de materiales recolectados o adquiridos en diferentes regiones del país[2] y fueron suministrados por el INIA.

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones. Cada unidad experimental (UE) estuvo estructurada por cuatro hilos de 6 m de

[2] Delis Pérez y Margaret Gutiérrez, INIA.2001. Comunicación personal.

longitud, separados a 0,60 m y área total de 14,4 m^2. Los hilos 1 y 3 de cada UE así como el siguiente hilo de la parcela contigua constituyeron los hilos de bordura. En el hilo 2 se realizaron muestreos secuenciales destructivos para evaluaciones de ÁF, tomando tres plantas para cada muestreo, y dejando 0,5 m de bordura en los extremos del hilo y 10 plantas de bordura sobre el hilo, entre un muestreo y el otro. Se estimó rendimiento a partir del hilo 4. El área total aproximada del ensayo fue 317 m^2.

Se determinó ÁF en 5 estadios de desarrollo fenológico (García, 1996; Warnock y Lizaso, 1995): El estadio V5 ocurre cuando el 50% de las plantas presenta 5 nudos en el tallo principal; R1 cuando el 50% de las plantas presenta una flor en cualquier nudo del tallo principal (inicio de floración); R4 cuando el 50% de las plantas posee una vaina ≥ 2 cm de longitud en cualquiera de los nudos del tallo principal (plena formación de vainas); R6 cuando el 50% de las plantas contiene granos de tamaño normal en cualquiera de los nudos del tallo principal (plena formación de semillas) y R7 cuando el 50% de las plantas presenta vainas en amarillamiento y el 50% de las hojas amarillas (inicio de maduración o madurez fisiológica).

Manejo de los Experimentos

Se mantuvieron las condiciones óptimas para que se manifestara el crecimiento y desarrollo potencial de los genotipos evaluados. En tal sentido, se controlaron competidores bióticos y todos los demás factores como agua y nutrimentos que pudieran suscitar estrés a las plantas. Se prepararon los suelos con 3 pases de rastra y surcado a 0,60 m. La siembra se realizó en forma manual, haciendo orificios sobre un lado de los camellones, con una separación de 0,07 m entre punto y 2 semillas por punto. Se entresacó dejando la población de 238 095 plantas por hectárea (pl ha^{-1}).

En MCY se regó por gravedad y en SM por aspersión con frecuencia de riego de acuerdo a la precipitación de cada localidad y las necesidades hídricas del cultivo. Se fertilizó en bandas a chorro corrido e incorporado, 14 días después de la siembra (DDS) en MCY y 8 DDS en SM, con Nitrofoska 12-12-16/2 a razón de 400 kg ha^{-1} (144 g por hilera).

Variables Evaluadas

Se midió el ÁF mediante un lector óptico marca LI-COR, modelo LI-3000A. Para cada folíolo de cada planta se registraron las variables siguientes: longitud medida por la nervadura central (cm), ancho promedio (cm), ancho máximo (cm) y área (cm^2). Las variables determinadas por planta fueron: número de folíolos totales, promedio de las longitudes de folíolos (cm), promedio de los anchos promedio de folíolos (cm), promedio de los anchos máximos de folíolos (cm) y área total (cm^2).

Para determinar ÍÁF ($m^2\ m^{-2}$) se transformó el área total por planta en cm^2 a m^2 y se dividió entre 0,042 m^2 que representa el área efectiva de suelo ocupada por cada planta de acuerdo a la población de plantas.

El rendimiento se evaluó en un área efectiva de 3 m^2, extrayendo al azar 10 plantas del hilo cuatro y dejando 0,5 m de bordura en los extremos. Se determinó el rendimiento corregido a 12% de humedad mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Rendimiento } \left(\frac{Mg}{ha}\right) = \left(\frac{10\ 000\ m^2}{ÁEP}\right) Pc$$

ÁEP = Área efectiva de parcela.
Pc = Peso corregido = Peso de semillas obtenidas en los 3 m^2 * Factor de corrección.

$$Fc = 1 - \left(\frac{H_i - H_f}{100 - H_f}\right)$$

Fc = Factor de corrección.
H_i = Humedad inicial del grano al momento de la cosecha.
H_f = Humedad final del grano corregida al 12%.

Análisis Estadísticos

Se aplicó el programa para análisis estadístico Statistical Analysis System (Littell *et al.*, 1991) a fin de evaluar la homogeneidad de varianzas de los errores entre las dos localidades (Prueba de Bartlett); la existencia

de diferencias estadísticamente significativas entre los genotipos (análisis de varianza; ANAVAR); y finalmente para evaluar cuáles genotipos fueron los responsables de las diferencias en cuanto al comportamiento del ÁF o diferencias entre medias (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan; PRMD).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las dos localidades mostraron varianzas desiguales, por tanto los mismos se discuten en forma separada. Debido a que para el estadio R7 las plantas no presentaron hojas verdes, ese estadio se omite en la presentación y discusión de los resultados.

Dinámica del Área Foliar (cm) por Planta e ÍÁF

Para la localidad MCY, los resultados del ANAVAR para R1 mostraron diferencias altamente significativas entre los valores de ÁF de los genotipos y para R4 diferencias significativas en R4; mientras que para SM se encontró alta significación en V5 y significación en R1. Los coeficientes de variación alcanzaron valores cercanos a 30% para ambas localidades, lo cual indica 70% de confiabilidad de los datos experimentales. El valor de este coeficiente depende en gran medida del tipo de experimento, del cultivo y de la variable medida. Para ÁF en caraota, no existen antecedentes en la literatura que puedan ser usados como referencia de comparación.

En el Cuadro 1 se presentan los valores de ÁF medidos y la agrupación de medias de acuerdo a PRMD. Para MCY en el estadio R1 se observó la formación de dos grupos claramente diferenciados. En el grupo *a* se ubicaron los materiales que obtuvieron los valores más altos, los cuales fueron todos excepto el genotipo Magdaleno usado como testigo. Dentro de este grupo se destacan los genotipos DP-02-98-007, MGM-03-99-06 y AM-03-00-06 por sus mayores valores. En el estadio R4 se observó la formación de cuatro grupos.

Los valores más altos fueron alcanzados por los genotipos DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y AM-03-00-06. En SM, en forma general, los genotipos alcanzaron valores mayores de ÁF en comparación con los obtenidos en la localidad de MCY; en V5 el mayor valor lo tuvo DP-01-98-007 y en R1 los genotipos MEM-01-00-16, MGM-03-99-06, DP-02-98-10 y DP-01-98-007. En el estadio R6, los genotipos DP-01-98-007 y

MEM-01-00-16 mostraron valores de ÁF claramente superiores, aunque éstos no se diferenciaron del resto de los materiales en forma significativa de acuerdo a los resultados del ANAVAR y PRMD, probablemente debido a los altos valores de los coeficientes de variación mencionados antes (34,23% en R6). En todos los casos, el genotipo Magdaleno tuvo los menores valores de ÁF.

CUADRO 1. Área foliar (cm^2) total por planta (promedio de nueve plantas), resultados de prueba de Rango Múltiple de Duncan de PRMD e Índice de Área Foliar (entre paréntesis) de seis genotipos de caraota en varios estadios de desarrollo para dos localidades.

Genotipo	Estadio							
	V5		R1		R4		R6	
	Localidad		Localidad		Localidad		Localidad	
	MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM
AM-03	397,4ab	379,8c	928,8a	1 325,7ab	1 853,3ab	2 137,5a	1 256,8b	1 856,6a
-00-06	(0,95)	(0,90)	(2,21)	(3,16)	(4,41)	(5,09)	(2,99)	(4,42)
DP-01-98	554,3ab	775,5a	843,4a	1 454,9a	1 504,9bc	2 162,1a	2 223,4a	3 317,8a
-007	(1,32)	(1,85)	(2,01)	(3,46)	(3,58)	(5,15)	(5,29)	(7,90)
DP-02-	604,6a	629,0ab	1 045,1a	1 587,2a	2 610,5a	2 041,6a	1 324,6ab	1 891,0a
98-10	(1,44)	(1,50)	(2,49)	(3,78)	(6,22)	(4,86)	(3,15)	(4,50)
Magdaleno	269,8c	579,9b	363,3b	914,7b	769,6c	1 496,8a	1 126,3b	2 137,4a
	(0,64)	(1,38)	(0,87)	(2,18)	(1,83)	(3,56)	(2,68)	(5,09)
MEM-01-	433,4ab	347,4c	763,0a	1 768,7a	2 313,9ab	2 072,1a	1 753,4ab	2 554,3a
00-16	(1,03)	(0,83)	(1,82)	(4,21)	(5,51)	(4,93)	(4,17)	(6,08)
MGM-03-	472,4ab	528,1bc	999,9a	1 669,7a	1 349,4bc	2 028,8a	1 256,8b	1 883,1a
99-06	(1,12)	(1,26)	(2,38)	(3,98)	(3,21)	(4,83)	(2,99)	(4,48)
Promedio	458,8	539,9	871,4	1 463,6	1 733,6	1 986,6	1 545,5	2 273,3
	(1,09)	(1,29)	(2,07)	(3,48)	(4,13)	(4,73)	(3,68)	(5,41)

*Letras distintas en la columna indican diferencias significativas según PRMD al 5%.

En Maracay el IÁF de los genotipos (Cuadro 1, entre paréntesis) osciló entre un mínimo de 0,64 (30 DDS, V5) a un máximo de 6,2 (48 DDS, R4). En SM, los mismos estadios fueron alcanzados más temprano, entre 23 a 57 DDS con valores de ÍÁF entre 0,83 en el estadio V5 (23 DDS) a 7,90 en el estadio R6 (57 DDS). Los valores máximos de ÍÁF, en promedio, fueron 20% mayores en la localidad de SM que en MCY, mostrando por tanto mayor potencial de captación de radiación solar.

En las Figuras 1 y 2 se muestran las curvas de tendencias del IÁF durante el ciclo del cultivo, utilizando funciones ajustadas de polinomios cuadráticos. Los coeficientes de determinación (R^2) de los modelos ajustados para las dos localidades, en su mayoría, tuvieron valores superiores a 98%, sólo en tres casos mostraron valores en el rango de 86 a 90%. La evolución de las tendencias mostró consistencia en ambas localidades de acuerdo a los genotipos. En los genotipos AM-03-00-06, DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y MGM-03-99-06 se observó incremento sostenido del ÁF desde V5 hasta R4 y luego disminución en el estadio R6 para ambas localidades. En cambio los genotipos DP-01-98-007 y Magdaleno continuaron mostrando incrementos del ÁF hasta el último estadio muestreado (R6). Esto indica, para estos últimos genotipos, mayor grado de crecimiento de tipo indeterminado que continua manifestándose en incrementos de ÁF incluso durante el estadio de plena formación de granos.

Los valores de ÍÁF señalados en este trabajo se encuentran en conformidad con los rangos de valores de ÍÁF señalados por la literatura para *P. vulgaris* en general, manejado de acuerdo al sistema de monocultivo. Jesus *et al*. (2001) midieron el ÍÁF de la variedad Carioca de caraota durante 32 a 73 DDS, encontrando valores de ÍÁF entre cero a cinco. Barradas *et al*. (1999) y Santos *et al*. (2003) mostraron valores de ÍÁF en caraota durante su ciclo, que oscilaron entre 0,26 a 5,2. En el presente estudio se evaluaron genotipos sin antecedentes previos, cuyos valores de ÍÁF en algunos casos como el de DP-01-98-007, DP-02-98-10 y MEM-01-00-16 fueron ligeramente mayores a 5, el tope indicado en la literatura (Barradas *et al*., 1999; Jesus *et al*., 2001; Santos *et al*., 2003); lo cual puede atribuirse al genotipo de los materiales y manejo de los experimentos.

Número de Folíolos Totales por Planta

No se encontró significación para esta variable en la localidad MCY, mientras que en SM, el número de folíolos totales por planta fue alta-

mente significativo en el estadio vegetativo V5 y no significativo en los estadios posteriores. Para ambas localidades, los valores de los coeficientes de variación oscilaron entre 20 y 30%, los cuales se manifiestan como un poco altos y podrían estar influyendo en la incapacidad del ANAVAR para detectar significación estadística en algunos estadios, debido a que sólo se usó tres repeticiones y una sola hilera de muestreo. Sin embargo, en MCY en los estadios R1 y R4 se destacaron los genotipos AM-03-00-06, DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y MGM-03-99-06. Para SM, en el estadio V5, PRMD (Cuadro 2) mostró la formación de 2 grupos.

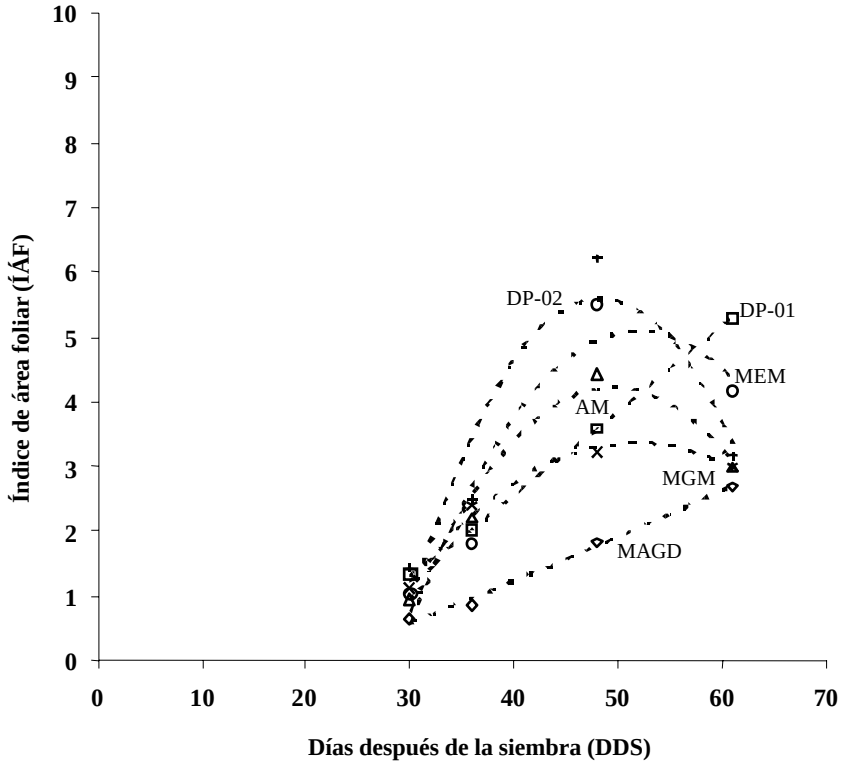

FIGURA 1. Curvas de tendencias del Índice de Área Foliar durante el ciclo de crecimiento para seis genotipos de caraota en la localidad de Maracay (MCY).

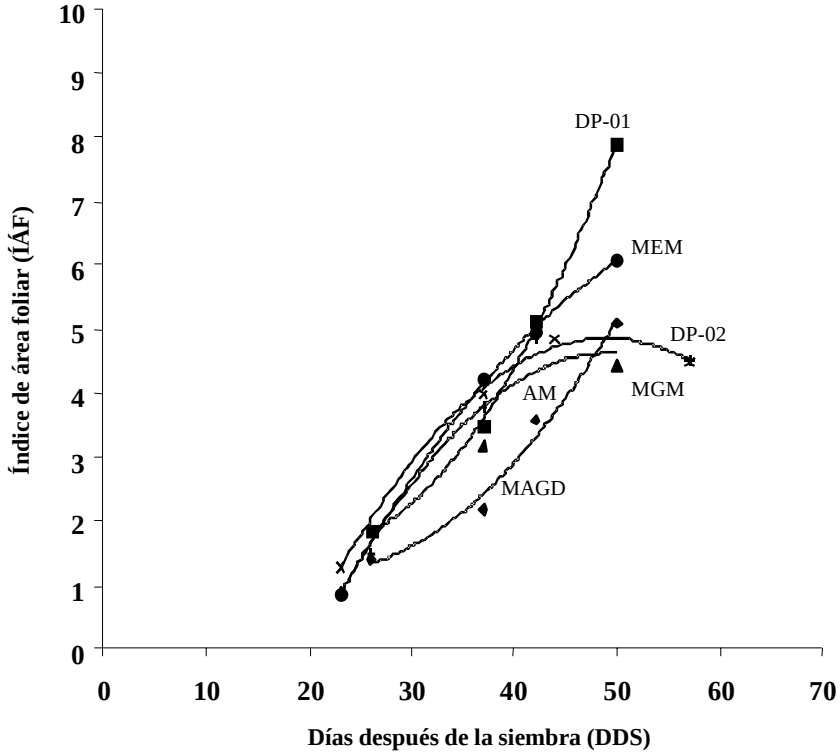

FIGURA 2. Curvas de tendencias del Índice de Área Foliar durante el ciclo de crecimiento para seis genotipos de caraota en la localidad de Samán Mocho (SM).

En el grupo *a* se ubicaron los materiales con valores estadísticos más altos los cuales fueron DP-01-98-007, Magdaleno y DP-02-98-10. Para el resto de los estadios, sólo en R1 se presenta una aparente diferenciación numérica de grupos, puesto que el ANAVAR no detectó diferencias estadísticas entre las medias. El genotipo MEM-01-00-16 ocupó el grupo con mayor número de folíolos totales por planta para dicho estadio y continuó produciendo mayor cantidad de hojas hasta el último muestreo.

Los datos del Cuadro 2 permiten discutir varios aspectos de la dinámica del número de folíolos totales por planta durante el ciclo de crecimiento

del cultivo. En ambas localidades, todos los genotipos, unos con mayor intensidad que otros continuaron produciendo hojas en términos de emisión de nuevos folíolos, después de terminada la fase vegetativa de crecimiento, aunque unos con mayor intensidad que otros. Este es un carácter diferenciador de los hábitos de crecimiento indeterminados que exhiben dichos genotipos. Además, se puede observar que los mismos no evolucionaron de manera similar durante el ciclo, es decir algunos alcanzaron su máxima producción de hojas antes que otros.

En MCY, sólo Magdaleno y DP-01-98-007 continuaron emitiendo nuevos folíolos hasta el último estadio de muestreo lo cual concuerda con los aumentos de ÍÁF siempre crecientes que exhibieron estos materiales ya discutidos en la Figura 1. En SM todos los genotipos, excepto AM-03-00-06, mantuvieron un incremento en la producción de hojas hasta el estadio final de muestreo, R6. Los materiales que alcanzaron su tope de emisión de folíolos antes de R6, lo hicieron en la etapa R4, la cual presentó el mayor número de folíolos promedio para MCY. En la literatura no se encontraron referencias acerca de esta variable que permitan realizar comparaciones con los resultados obtenidos en este estudio.

Longitud de Folíolos (cm)

En ambas localidades esta variable presentó alta significación en el estadio V5, además, en MCY presentó diferencias significativas entre las medias durante el estadio R4 y en SM durante el estadio R1, en los posteriores estadios no se encontraron diferencias. Los coeficientes de variación oscilaron entre 8 y 12%.

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de las pruebas de medias. En casi todos los casos, el genotipo Magdaleno usado como testigo se destacó con los folíolos más cortos. Para MCY, los folíolos más largos, en el estadio V5, los obtuvo el genotipo DP-02-98-10 y en el estadio R4, los genotipos AM-03-00-06 y DP-02-98-10. Para SM, en el estadio V5 los folíolos más largos fueron de los genotipos MGM-03-99-06 y MEM-01-00-16, y en R1 el genotipo DP-01-98-007 obtuvo los valores estadísticos más altos o folíolos más largos. La mayor longitud de folíolos promedio fue alcanzada más temprano en MCY, en general en el estadio de 5 nudos, mientras que en SM en el estadio de inicio de floración. Para esta variable no se encontraron referencias en la literatura que permitieran comparar los valores obtenidos.

CUADRO 2. Número, longitud y ancho de folíolos por planta (promedio de nueve plantas) y resultados de Prueba del Rango Múltiple de Duncan* en seis genotipos de caraota.

Variable	Genotipo	Estadio							
		V5		R1		R4		R6	
		Localidad		Localidad		Localidad		Localidad	
		MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM
Número de folíolos totales por planta	AM-03-00-06	19,1a	12,1b	38,1a	45,9abc	71,7ab	71,0a	53,7a	63,7a
	DP-01-98-007	21,1a	24,9a	31,1ab	42,8c	61,0ab	69,3a	85,3a	82,3a
	DP-02-98-10	22,0a	22,3a	36,6a	47,7abc	85,7a	62,1a	65,7a	67,7a
	Magdaleno	15,4a	24,6a	24,1b	44,6bc	41,3b	61,1a	67,3a	87,7a
	MEM-01-00-16	18,4a	10,1b	36,4a	56,6a	92,3a	73,8a	78,0a	88,7a
	MGM-03-99-06	19,9a	14,2b	35,4a	54,4ab	79,3a	68,0a	73,7a	83,3a
	Promedio	19,3	17,9	33,6	48,3	71,9	67,6	70,6	78,8
Promedio de longitud de folíolos	AM-03-00-06	7,8c	9,4ab	8,9a	9,4b	9,2a	8,9ab	8,5ab	8,3ab
	DP-01-98-007	9,3ab	8,8b	8,0ab	10,5a	8,1ab	8,6ab	9,3a	9,2a
	DP-02-98-10	10,3a	8,7b	8,9a	10,1ab	9,1a	9,4a	7,8b	9,0ab
	Magdaleno	7,6c	7,6c	7,8ab	8,5c	7,6bc	8,4b	7,6b	7,8b
	MEM-01-00-16	8,0bc	9,8a	7,4b	9,3b	8,5ab	8,5ab	7,9ab	8,1ab
	MGM-03-99-06	8,4bc	10,0a	8,6ab	9,5b	6,3c	8,2b	8,4ab	8,2ab
	Promedio	8,6	9,1	8,3	9,6	8,4	8,7	8,3	8,4

../... continúa

../... continuación CUADRO 2

Variable	Genotipo	Estadio							
		V5		R1		R4		R6	
		Localidad		Localidad		Localidad		Localidad	
		MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM	MCY	SM
Promedio de ancho máximo de folíolos	AM-03-00-06	7,4a	7,5abc	6,9abc	6,1bc	6,4a	6,8ab	6,5ab	7,5a
	DP-01-98-007	7,7a	7,4abc	7,2ab	6,7a	6,3a	8,0a	6,7a	8,2a
	DP-02-98-10	7,7a	7,3bc	7,4a	6,6a	6,5a	7,2ab	6,5ab	7,7a
	Magdaleno	7,0a	7,2c	6,5c	5,8c	5,4b	6,9ab	5,7c	7,7a
	MEM-01-00-16	7,6a	8,0ab	6,7bc	6,4ab	6,1a	6,6b	6,1bc	7,6a
	MGM-03-99-06	7,0a	8,1a	7,1abc	6,1bc	5,4b	7,6ab	6,5ab	7,5a
	Promedio	7,4	7,6	7,0	6,2	5,9	7,2	6,3	7,7

*Letras distintas en la columna indican diferencias significativas según PRMD al 5%.

Ancho Máximo de Folíolos (cm)

En MCY, el promedio de ancho máximo de folíolos mostró diferencias significativas en los estadios R4 y R6 (plena formación de semillas) y en SM sólo en el estadio R1, en los demás estadios no se encontraron diferencias significativas. Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos, ubicándose entre 4 y 11%.

Al igual que para promedio de longitud de folíolos, en casi todos los casos el genotipo Magdaleno tuvo los folíolos más angostos. En las dos localidades, los genotipos DP-01-98-007 y DP-02-98-10 se distinguieron dentro del grupo con folíolos más anchos. Los genotipos MEM-01-00-16 y AM-03-00-06 también alcanzaron valores altos de ancho máximo de folíolos en MCY, durante el estadio R4.

En cuanto a la dinámica de la variable durante el ciclo de crecimiento del cultivo, en MCY los máximos valores promedios fueron alcanzados por los materiales en el estadio V5 y los mínimos valores en el estadio R4.

En SM, el promedio de ancho máximo de folíolos varió poco a lo largo del ciclo, siendo R1 el estadio en el cual todos los materiales arrojaron valores más bajos; no obstante, en esta localidad los materiales mostraron tendencia a desarrollar folíolos más anchos hacia los estadios finales R4 y R6. A medida que aumenta el ancho de los folíolos en los diferentes estadios de desarrollo, la planta tendrá una mayor capacidad de interceptar radiación solar y como consecuencia un mayor proceso de fotosíntesis. Al igual que para las variables anteriores, los trabajos previos de medición de ancho máximo de folíolos en los genotipos de caraota no existen.

Correlaciones

En el Cuadro 3 se muestran los valores de las correlaciones simples más sobresalientes entre el ÁF por planta y las otras variables foliares medidas en este trabajo, utilizando en conjunto los datos de las dos localidades. En todos los casos las correlaciones fueron altas, iguales o superiores a 85%. Para todos los genotipos evaluados la variable que presentó mayor correlación (99%) con el área fue el ancho promedio de folíolos, además en el caso de MEM-01-00-16, la variable longitud de folíolos mostró también el valor más alto (99%). En la práctica, las mediciones manuales

de ancho promedio de folíolos son laboriosas y exigentes en cuanto a horas de trabajo, y si se hacen con instrumentos ópticos requieren equipos más sofisticados y costosos, por ello sería deseable encontrar alguna variable sustitutiva para estimar ÁF que presente una buena correlación y que en la práctica sea más expedita manteniendo una adecuada precisión.

CUADRO 3. Correlaciones entre área foliar total por planta (cm^2) y varios componentes del área foliar para seis genotipos de caraota.

Genotipo	Folíolos	Longitud Folíolos (cm)	Ancho Promedio Folíolos (cm)	Ancho Máximo Folíolos (cm)
AM-03-00-06	0,97	0,97	0,99	0,97
DP-01-98-007	0,85	0,88	0,92	0,89
DP-02-98-10	0,92	0,94	0,97	0,93
Magdaleno	0,92	0,95	0,97	0,95
MEM-01-00-16	0,97	0,99	0,99	0,97
MGM-03-99-06	0,90	0,96	0,99	0,94

La literatura presenta algunas alternativas de relaciones empíricas entre el ÁF y otras variables relacionadas que permiten estimar ÁF utilizando una ecuación de regresión. Jesús *et al*. (2001) en Brasil emplearon el ancho máximo del folíolo central para estimar el ÁF de plantas de caraota variedad Carioca, con buenos resultados. Lieth y Reynolds (1984) en cambio en Carolina del Norte, Estados Unidos, para la variedad Bush Blue Lake 290, encontraron altas correlaciones entre longitud de folíolo y ÁF, lo cual aprovecharon para construir ecuaciones de regresión con altos coeficientes de determinación ($R^2 \geq 0,99$). En este estudio las correlaciones entre variables difirieron de acuerdo al genotipo: para AM-03-00-06 el número, longitud, y ancho máximo de folíolos tuvieron altas correlaciones (0,97) por lo que cualquiera de éstos pudiera servir para estimaciones de ÁF; para DP-01-98-007 la mejor correlación después del ancho promedio de folíolos se obtuvo con el ancho máximo de

folíolos; para DP-02-98-10, MEM-01-00-16 y MGM-03-99-06 con longitud de folíolos; para Magdaleno longitud de folíolos y ancho máximo de folíolos

Rendimiento (Mg ha^{-1})

En la Figura 3 se exhiben los rendimientos de los genotipos en las dos localidades. Los rendimientos promedio de SM superaron por 0,6 Mg ha^{-1} los de MCY, lo que equivale a 50% más de granos en SM. Todos los genotipos, excepto AM-03-00-06, presentaron rendimientos más altos en SM. Los rendimientos más altos de SM concuerdan con los valores más altos de ÍÁF y los suelos más ricos en materia orgánica de dicha localidad.

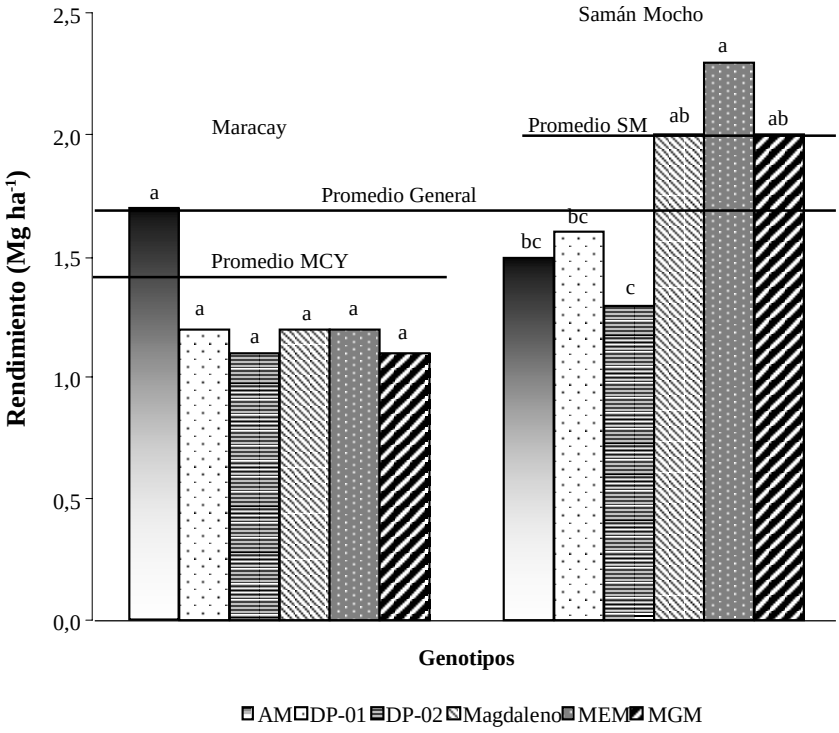

FIGURA 3. Rendimientos de seis genotipos de caraota en Maracay (MCY) y Samán Mocho (SM).

En MCY no se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos de los genotipos, no obstante AM-03-00-06 se destacó del resto con el rendimiento más alto de 1,7 Mg ha^{-1}. En SM, el ANAVAR detectó diferencias de rendimiento entre los tratamientos al nivel de 1%.

La PRMD muestra la formación de cuatro grupos. En el primer grupo se ubicó el genotipo MEM-01-00-16 el cual obtuvo el mayor valor de rendimiento (2,3 Mg ha^{-1}), mientras que en el cuarto grupo se ubicó el genotipo DP-02-98-10 el cual presentó el menor valor de rendimiento. En la Figura 3 también se presenta la comparación de los rendimientos entre sí y con los promedios locales y general. Los rendimientos obtenidos en este trabajo se ubican dentro del rango general presentando para el cultivo de caraota en Venezuela (García, 1996).

Al relacionar las diferentes variables estudiadas en este trabajo se nota que los genotipos MEM-01-00-16 y AM-03-00-06 que fueron los que alcanzaron los mayores rendimientos finales, también se destacaron a lo largo del ciclo del cultivo con valores altos de número de folíolos totales por planta, longitud de folíolos, ancho máximo de folíolos y ÁF.

CONCLUSIONES

- La metodología de campo utilizada permitió la obtención de un conjunto de datos de ÁF confiables y representativos de los genotipos evaluados.

- Los genotipos DP-01-98-007 y Magdaleno tuvieron mayor grado de crecimiento indeterminado en ambas localidades, el cual se manifestó por un continuo incremento del ÁF hasta en el estadio de plena formación de granos.

- El número, longitud y ancho máximo de folíolos, por sus altas correlaciones con ÁF, pueden ser utilizadas para estimaciones de ÁF mediante el procedimiento de regresión lineal.

- En la localidad SM, las variables componentes del ÁF y los rendimientos (50%) fueron superiores que en MCY.

- Los genotipos MEM-01-00-16 en SM y AM-03-00-06 en MCY alcanzaron los mayores rendimientos finales y también se destacaron

a lo largo del ciclo del cultivo con valores altos de número de folíolos totales por planta, longitud de folíolos, ancho máximo de folíolos y ÁF, en cambio el genotipo usado como testigo, Magdalena, ocupó los valores más bajos.

BIBLIOGRAFÍA

BARRADAS, V., H. JONES and J. CLARK. 1999. Leaf orientation and distribution in a *Phaseolus vulgaris* L. crop and their relation to light microclimate (en línea). Int. J Biometeorol. 43(2):64-70. Consultado 16 de junio de 2005.

BOOTE, K., J. JONES and N. PICKERING. 1996. Potential uses and limitations of crop models. Agron. J. 88:704-716.

BOOTE, K., M. KROPFF and P. BINDRABAN. 2001. Physiology and modeling of traits in crop plants: Implications for genetic improvement. Agric. Syst. 70:395-420.

BORGES, R., A. RAMONES y R. MAURO. 1982. Los suelos de la estación Experimental Samán Mocho. Estudio agroecológico especial. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. pp. 37-39.

COLMENARES, O. 2004. Evaluación fenológica de materiales promisorios de los géneros *Phaseolus* y *Vigna* en el estado Aragua. Tesis de grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 64 p.

DAPAAH, H., B. McKENZIE and G. HILL. 2000. Influence of sowing date and irrigation on the growth and yield of pinto beans (*Phaseolus vulgaris*) in a sub-humid temperate environment. Cambridge University Press. The Journal of Agricultural Science Cambridge Journals Online – CUP Abstract Page. Consultado en Internet 21 de febrero de 2005. 134:33-43.

EGLI, D. and W. BRUENING. 1992. Planting date and soybean yield: Evaluation of environmental effects with a crop simulation model: SOYGRO. Agric. for Meteorol. 62:19-29.

GARCÍA, J. 1996. Fenología de cuatro variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) sembrada en dos localidades y dos fechas del periodo septiembre-enero. Tesis de grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 56 p.

GOMES, A., A. ARAUJO, R. ROSSIELLO e C. PIMENTEL. 2000. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro (en línea). Revista PAB. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Volume 35 Numero 10.

GUTIÉRREZ, M., D. PÉREZ, A. MARQUES, V. SEGOVIA y C. MARÍN. 2004. Prospección y recolección de materiales nativos del género *Phaseolus* en la zona nororiental y andina de Venezuela. Plant Genetic Resources (PGR) Newsletter. 140:32-41.

JAME, Y. and H. CUTFORTH. 1996. Crop growth-models for decision support systems. Can J. Plant Sci. 76:9-19.

JESÚS, W. de, F. do VALE, R. COELHO and L. COSTA. 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean (en línea). Agronomy Journal 93:989-991. Consultado el 21 de febrero de 2005.

LIETH, J. and J. REYNOLDS. 1984. A model of canopy irradiance in relation to changing leaf area in a phytotron-grown snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. Int. J. Biometeor. 28(1):61-71.

LITTELL, R., R. FREUND and P. SPECTOR. 1991. SAS System for Linear Models, Third Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 329 p.

PEDERSEN, P. and J. LAUER. 2002. Application of the CROPGRO-Soybean Model to predict soybean yield (en línea). Wisconsin. USA. Consultado el 29 de abril de 2004.

ROSENZWEIG, C. and A. IGLESIAS. 1998. The use of crop models for international climate change impact assessment. **In:** Tsuji, Hoogenboom and Thornton, (Eds.) Understanding options for agricultural production. Kluwer Academic Publishers. 267 – 292.

RUIZ-NOGUEIRA, B., K. BOOTE and F. SAU. 2001. Calibration and use of CROPGRO-soybean model for improving soybean management under rainfed conditions in Galicia, Northwest Spain. Agric. Syst. 68:151-173.

SANTOS, J. DOS, S. PROCOPIO e A. DA SILVA. 2003. Capture and utilization of solar rdiation by the soybean and common bean crops and by weeds (en línea). Bragantia 62(1):147-153.

SINGH, S. 1991. Bean genetics. **In:** A van Schoonhoven and O Voysest (eds.) Common beans: Research for crop improvement. CAB International/CIAT, Wallingford. UK. 199-249.

SOLANO, A. 2005. Reacción de accesiones locales de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) a la quemazón bacteriana. Tesis de grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 87 p.

TORTOZA, J. 1997. Variabilidad del suelo y limitaciones para el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el lote E del campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Tesis de Grado Ing. Agrónomo. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 52 p.

TSUBO, M. and S. WALKER. 2002. A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy (en línea). Agricultural and Forest Meteorology. 110(3):203-215. Consultado el 22 de febrero de 2005. Disponible en http://www.science.direct.com

TSUJI, G., G. UEHARA and S. Balas. 1994. DSSAT v3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 244 p.

VILLALOBOS, R. y J. RETANA. 2004. CROPGRO-Dry bean, un modelo de simulación del crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol (en línea). Costa Rica. Consultado el 30 de abril de 2004. Disponible en www.imn.ac.cr/gesdesarrollo/ABSTRAT/CROPGRO.htm

WARNOCK, R. y J. LIZASO. 1995. Importancia de los modelos agronómicos. Boletín de Post-grado. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 5(1):9-10.

WHITE, J. 1985. Conceptos básicos de fisiología vegetal del frijol (*Phaseolus vulgaris* L). **In:** M. López, F. Fernández y A. van Schoonhoven, (eds.) Frijol: Investigación y Producción. CIAT. Cali, Colombia. 43-57.