

Rendimiento del frijol de hábito determinado su estimación con base a componentes fisiológicos, morfológicos e índices climáticos

ESCALANTE-ESTRADA José Alberto Salvador * †, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ María Teresa, ESCALANTE-ESTRADA Yolanda Isabel.

Universidad Autónoma de Guerrero
Colegio de Postgraduados. Montecillo

Recibido: Agosto, 22, 2017; Aceptado febrero 9, 2018

Resumen

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es parte de la dieta alimenticia de México. Así, los estudios tendientes a generar conocimiento sobre este cultivo se justifican. El objetivo del trabajo fue determinar en frijol Canario 107: a) la relación y el modelo entre el rendimiento en grano (RG) y sus componentes morfológicos y fisiológicos; b) la relación y el modelo entre el RG, sus componentes y la biomasa en función de la evapotranspiración, unidades calor y radiación fotosintéticamente activa. Se aplicaron correlación, regresión múltiple y análisis Stepwise. El rendimiento en grano presentó una relación alta con sus componentes morfológicos, la biomasa y la duración del área foliar. Así mismo, El número de granos con el número de vainas y este con el número de racimos, la biomasa y la duración del área foliar. El modelo que mejor estimó el rendimiento en grano involucró al número de granos, tamaño del grano y la duración del área foliar o la biomasa. En relación a los índices del clima, el modelo que mejor explicó el rendimiento en grano y la duración del área foliar involucró la evapotranspiración del cultivo, las unidades calor y la radiación fotosintéticamente activa.

Palabras clave: número de granos, número de vainas, racimos, duración del área foliar, biomasa.

Abstract

Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are part of the diet of Mexico. Thus, studies tending to generate knowledge about this crop are justified. The objective of this work was to determine: a) the relation and model between grain yield (GY) and its morphological, physiological components in bean Canario 107; b) the relationship and the model between the GY, its components and the biomass as a function of evapotranspiration, heat units and photosynthetically active radiation. Correlation, multiple regression and Stepwise analysis were applied. The grain yield showed a high relation with its morphological components, the biomass and the leaf area duration. Also, the number of grains with the number of pods and this with the raceme number, the biomass and the leaf area duration. The model that best estimated the yield in grain involved the number of grains, grain size and the leaf area duration or the biomass. In relation to the indexes of the climate, the model that best explained the grain yield and the the leaf area duration involved crop evapotranspiration, the heat units and the photosynthetically active radiation.

Key words: grain number, pod number, racemes, leaf area duration, biomass.

Citación: ESCALANTE-ESTRADA José Alberto Salvador * †, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ María Teresa, ESCALANTE-ESTRADA Yolanda Isabel. Rendimiento del frijol de hábito determinado su estimación con base a componentes fisiológicos, morfológicos e índices climáticos. Foro de Estudios sobre Guerrero 2019, mayo 2018 - abril 2019 Vol. 6 No. 1 62-70.

*Correspondencia al Autor: jasee@colpos.mx

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) junto con el maíz forma parte de la dieta alimenticia de México. El frijol presenta propiedades nutricionales y medicinales.

Se ha reportado que su consumo reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y diabetes tipo II (Bennink, 2005). Datos del SIAP (2016), señalan que en México, durante el año agrícola 2016, el frijol ocupó el segundo lugar de superficie sembrada con 1,635, 688 ha, siendo el 90% de régimen de lluvia (temporal, RLL)) con un rendimiento medio bajo riego (RO) de 1.749 ton ha⁻¹ y de temporal de 0.534 ton ha⁻¹. En el estado de Guerrero en 2016, se sembraron en primavera-verano de RLL 1,598 ha, que se distribuyeron en 7 en Altamirano, 670 en Chilpancingo, 30 en Iguala, 860 en Las Vigas y 30 en Tlapa con un RG medio de 0.379 t ha⁻¹. Con siembras de otoño de RO se sembraron 4,850 ha, distribuidas de la manera siguiente: 1846 en Atoyac, 322 en Chilpancingo, 43 en Iguala, 1908 en Las Vigas y 731 en Tlapa. El RG medio fue de 0.794 t ha⁻¹(SIAP, 2016).

El rendimiento en grano (RG) del frijol sobre todo el cultivado bajo RLL, depende de la distribución y cantidad de la misma. Debido a la variabilidad de los elementos del clima es difícil el pronóstico con precisión sobre la producción de los cultivos. No obstante, se han intentado diferentes metodologías o modelos que pueden ser una ecuación o conjunto de ecuaciones para estimar o predecir el RG de los cultivos (Lobell *et al.*, 2007). Escalante *et al.* (2001), señalan que en frijol arbustivo Michoacán 12-A-3 de hábito de crecimiento indeterminado, sembrado en primavera-verano y otoño en clima cálido, se observó que la variación en la biomasa se determinó linealmente por la evapotranspiración del cultivo (ETc) y en menor grado, por la radiación solar (RS) y la integral térmica estacional denominada unidades calor (UC).

El RG mostró una relación cuadrática con estos factores, siendo más alta con la ETc, en menor grado, con la RS y las UC. También en frijol se han generado modelos de simulación del crecimiento y rendimiento, que en algunos casos incluyen el índice de área foliar (Báez-González *et al.*, 2005), y otros componentes de rendimiento (Shenkut y Brick, 2003).

El comportamiento de estos componentes se refleja en el RG (Escalante y Kohashi, 2015). Sin embargo, queda pendiente el uso de manera conjunta de los componentes tanto fisiológicos como morfológicos para generar modelos que estimen el RG del frijol. Por lo general, los antecedentes sobre la relación de cada componente con el RG, reporta resultados contrastantes (Ramírez-Vallejo y Kelly, 1998). Amador-Ramírez *et al.* (2007), encontraron una correlación significativa entre el índice de área foliar, medido en la etapa de formación y llenado de vainas, con el RG en frijol de temporal. Singh (1995) reportó una correlación negativa entre el rendimiento y el peso individual de la semilla. Infante *et al.* (2003), encontraron correlación positiva entre el RG de frijol de temporal y sus componentes.

Algunos estudios indican que el número de vainas y el número de granos presentan una alta correlación con el RG (Escalante *et al.*, 2013). En contraste, esto no ocurre con el número de granos por vaina o peso individual del grano (Shenkut y Brick, 2003). Sin embargo, para generar modelos con una mayor precisión para estimar el RG, se requiere involucrar los componentes formados durante el desarrollo del ciclo y conocer su grado de aportación al RG, lo que ayudaría a reducir el costo económico y en tiempo del estudio.

Por otra parte, la temperatura medida como unidades calor o grados días (Snyder, 1985) o tiempo termal (Bollero *et al.*, 1996), también ha mostrado una relación alta con el rendimiento, por ejemplo, en maíz (Muchow *et al.*, 1990; Fuenzalida *et al.*, 1993) ya se ha utilizado como base para la clasificación del desarrollo y madurez de los cultivos (Undersander y Christiansen, 1986). Asimismo, Escalante (1999) y Escalante *et al.* (2016) señalaron que la radiación solar acumulada durante el desarrollo del cultivo también es determinante para la producción de biomasa en girasol.

En frijol, el estudio de la relación entre crecimiento y factores del ambiente ha recibido poca atención. De trabajos realizados en Chapingo, México, con frijol cv. Canario de hábito de crecimiento determinado, se deduce una relación lineal entre la biomasa y la ETc (Siquiera y Palacios 1985).

En cuanto a la temperatura, Robertson y Frazier (1978) señalaron que para un “óptimo” crecimiento del frijol se requiere de 1800 unidades calor (UC) y Flores *et al.* (1985) indicaron que el crecimiento del frijol en el altiplano de Zacatecas se relaciona con las UC y que ambos factores están en función de la fecha de siembra. Así, cuando ésta se realizó el 20 de abril, el frijol acumuló 892 UC y cuando fue un mes después, el frijol acumuló 731 UC.

Por otra parte, en climas templados, de los datos de Siquiera y Palacios (1985) en campo e invernadero, se deduce una relación cuadrática entre el rendimiento del frijol Canario 107 y la ETc.

Objetivos

Determinar en frijol Cacahuete cultivado en clima cálido: a) la relación y contribución de los componentes morfológicos y fisiológicos a los cambios en el rendimiento en grano; b) el modelo que mejor estime el rendimiento en grano en función de sus componentes; c) el modelo que mejor estime el rendimiento en grano, la biomasa y la duración del área foliar en función de la evapotranspiración del cultivo, unidades calor y la radiación fotosintéticamente activa.

Materiales y método

El estudio se realizó con datos provenientes de una serie de trabajos bajo tratamientos de fertilización química, orgánica, fechas y densidades de siembra realizados entre 2010-2012, durante el verano bajo régimen de lluvia y el otoño de riego con el cultivar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Canario 107 de hábito de crecimiento determinado Tipo I, flor de color rosado y un peso medio del grano entre 320 a 390 mg (Rosales *et al.*, 2004), sembrados a la densidad de población de 13.3 plantas m⁻² en surcos a 0.80m de separación, en Iguala Gro., México (18° 14' N, 99° 39' O y una altitud de 746 m) de clima AW₀, que corresponde a cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 26.4°C, una media del mes más frío (diciembre) de 23.4 °C. La oscilación de temperatura de un mes a otro es de 5 a 7 °C. La precipitación promedio anual es de 1017 mm (García, 2005).

El suelo es un vertisol, con pH de 8, conductividad eléctrica de 0.23 dS·m⁻¹, materia orgánica de 1.7 %, 0.1 % de N total y 14 ppm de fósforo.

Las siembras de verano (régimen de lluvia), fueron entre el 28 de junio y 26 de julio.

En esta siembra, la emergencia ocurrió entre los 6 y 7 días después de la siembra (dds), el inicio de floración (IF) entre los 35 y 40 dds, el final de floración (FF) entre los 70 y 76 dds y la cosecha final a madurez fisiológica (MF) entre los 84 y 90 dds.

Las siembras de invierno fueron el 19 de diciembre, con 6 a 7 riegos con intervalo de 10 días. La emergencia de plántulas ocurrió entre los 8 dds; IF a los 40 dds, FF 63 dds y la cosecha a los 87 dds. A la MF en 20 plantas por unidad experimental (tratamiento - repetición, UE) de cada experimento, se registró la biomasa (materia seca, gm^{-2} , BT), el rendimiento en grano (gm^{-2} , RG), el tamaño del grano (peso seco medio por grano en g, TG), el número de granos m^{-2} (NG), número de vainas con grano m^{-2} (NV), Número de granos por vaina (GV), número de racimos m^{-2} (RAC). Además, tomando muestras de 10 plantas de cada UE cada 15 días, se registró el área foliar mediante un integrador de área, para calcular la DAFT hasta los 72 días, mediante la ecuación presentada en Escalante y Kohashi (2015) de la manera siguiente: $\text{DAFT} = \Sigma (\text{IAF}_1 + \text{IAF}_2) (T_2 - T_1) / 2$, donde: DAFT= duración del área foliar total, Σ = suma de la duración del área foliar de cada período estudiado, IAF_1 = índice de área foliar en un tiempo del área foliar inicial (T_1 , en días), IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final (T_2 , en días).

La evapotranspiración del cultivo (ETc) mm d^{-1} se calculó con el método del evaporímetro de cubeta clase A, utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro y 0.65 como coeficiente del cultivo (Kc) (Doorenbos y Pruitt, 1977).

La ETc estacional comprende la integral de la ETc diaria. La radiación solar global diaria (Rg) ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) se registró con un radiómetro y la radiación fotosintéticamente activa (RAF) se calculó tomando como factor 0.49 de la Rg (Righini y Grossi, 2005).

La RAF estacional comprende la integral de la RAF diaria. Para determinar las unidades calor (UC) se utilizó el método residual publicado en Snyder (1985) con la ecuación siguiente: $\text{UC} = (\text{Tmáx} + \text{Tmín}) / 2 - \text{TB}$; Donde: Tmáx = Temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$), Tmín = Temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$), TB = Temperatura base o umbral (10°C para frijol, Bahía *et al.*, 2000).

La UC estacional comprende la integral de UC diaria. Mediante el paquete SAS versión 9 (SAS, 2001) al conjunto de datos se le aplicó un análisis de correlación, un análisis de regresión múltiple entre el RG y sus componentes, además de un Stepwise para buscar el modelo que mejor estime el RG.

Para determinar las relaciones entre la ETc, UC y RAF con la producción de biomasa, rendimiento en grano y sus componentes, se realizó un análisis de correlación.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan los valores mínimo, máximo, medio y la desviación estándar del rendimiento en grano (RG), sus componentes morfológicos y fisiológicos del frijol (*P.vulgaris* L.) Canario 107, utilizados en el presente estudio. Se observa que el RG medio fué de 106 g m^{-2} , con un NG de 313, TG de 0.34 g, 97 GV, 149 RAC, 177 g m^{-2} de BT y DAF de 35 días.

En esto se invirtió una media de 1490 °C día; 1020 MJ m⁻² de RAF y una ETc de 345 mm (Tabla 2).

Coefficiente de correlación entre el rendimiento en grano y sus componentes.

El RG mostró una relación alta ($r=0.97^{**}$) con el NG y la BT; seguido con RAC (0.92^{**}), el VG ($r=0.90^{**}$) y la DAF (0.85^*). La relación más baja y no significativa se encontró con el TG y GV (Tabla 3). Así mismo, el NG mostró una relación alta con la BT, seguido de RAC, VG y DAF; VG con la DAF seguido de RAC y BT; RAC con DAF y BT; y la BT con DAF (Tabla 3).

Esto indica que para mejorar el RG, durante la ontogenia de los componentes del RG se debe buscar plantas más grandes es decir que tengan mayor BT y DAF, que generen mayor número de RAC, estos a su vez, mayor NVG y NG.

Tabla 1. Rendimiento en grano, sus componentes morfológicos y fisiológicos del frijol (*P.vulgaris L.*) Canario 107. Iguala Gro., México.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
RG (g m ⁻²)	47	140	106	32
NG m ⁻²	121	398	313	98
TG (g)	0.30	0.39	0.34	0.03
VG m ⁻²	52	101	97	38
GV	3.3	0.67	2.3	3.9
RAC m ⁻²	50	245	149	59
BT (g m ⁻²)	69	238	177	59
DAF (días)	20	56	35	10

N = 64 observaciones. RG = rendimiento grano; NG = número de granos; TG = peso medio por grano; VG = vainas con grano; GV = granos por vaina; RAC = número de racimos; BT = biomasa total; DAF = duración del área foliar, coeficiente de correlación de Pearson entre ETc, UC, RAF con la BT, el RG y sus componentes

El RG mostró que los cambios en la BT, el RG y sus componentes mostraron una relación alta con la RAF, UC y ETc. Esto indica que la variabilidad en la DAF y los componentes que se generan durante la ontogenia del cultivo, se relacionan con cambios en la ETc, UC y RAF (Tabla 4). En el caso de la DAF, la relación es más alta con la ETc, lo que indica un mayor peso de la disponibilidad de agua para el crecimiento del cultivo, seguido de UC y % los RAF.

Tabla 2.- Suma de unidades calor (°C día), Radiación fotosintéticamente activa (RFA, MJ m⁻²) y evapotranspiración del cultivo (ETc, mm) durante el ciclo del cultivo del frijol (*P.vulgaris L.*) Canario 107. Iguala Gro., México.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
UC (°C días)	1198	1679	1490	190
RAF (MJ m ⁻²)	856	1085	1020	84
ETc (mm)	293	377	345	26

Modelos que estiman el RG en función de sus componentes fisiológicos y morfológicos

Para determinar el mejor modelo que estime, con un 99% de probabilidad el RG en función de los componentes morfológicos y fisiológicos, se aplicó el procedimiento Stepwise.

Así, en la Tabla 5 se observa que cuando se incluyen todos los componentes registrados, el modelo determina los cambios en RG en 99%.

Así mismo, cuando se incluye solo la DAF, TG y NG; la BT, NG y TG; y el NG y TG. Este último parece ser el más apropiado, puesto que al utilizar dos variables en el modelo, reduce el costo de inversión en tiempo y económico.

La estimación en función del NG, puede ser aceptable pero se reduce la precisión puesto que los cambios en RG son determinados en 96% por cambios en el NG (Tabla 5).

Tabla 3. Coeficiente de correlación (r) de Pearson entre el rendimiento en grano, sus componentes y la biomasa (BT) del frijol (*P.vulgaris L.*) Canario 107. Iguala Gro., México.

	R G	NG	TG	VG	GV	RA C	BT	DA F
R G		0.98 **	- 0.24 NS	0.90 **	0.02 NS	0.92 **	0.97 **	0.85 *
N G			- 0.42 NS	0.84 *	0.16 NS	0.88 *	0.98 **	0.80 *
TG				- 0.06 NS	- 0.65 NS	- 0.23 NS	- 0.36 NS	- 0.26 NS
V G					- 0.38 NS	0.88 *	0.87 *	0.98 **
G V						- 0.03 NS	0.05 NS	- 0.22 NS
R A C							0.87 *	0.93 **
BT								0.83 *

*, **, Indican $P < 0.05$, 0.01 , respectivamente; NS indica diferencias no significativas a $P > 0.05$.

Tabla 4. Coeficiente de correlación (r) de Pearson entre las unidades calor, evapotranspiración del cultivo, radiación fotosintéticamente activa con el rendimiento en grano, sus componentes y la biomasa (BT) del frijol (*P.vulgaris L.*) Canario 107. Iguala Gro., México.

	ETc	UC	RAF
RG	0.95**	0.97**	0.97**
NG	0.93**	0.97**	0.97**
TG	-0.26NS	-0.19NS	-0.28NS
VG	0.82*	0.86*	0.78*
GV	0.03NS	0.0001NS	0.20NS
NRAC	0.91**	0.88*	0.88*
BT	0.93**	0.95**	0.95**
DAF	0.87*	0.78*	0.76*

*, **, Indican $P < 0.05, 0.01$, respectivamente; NS indica diferencias no significativas a $P > 0.05$.

Tabla 5. Modelos que estiman el RG en función de sus componentes fisiológicos y morfológicos

MODELO	R ²
$RG = -0.98 + 0.45NG + 246TG - 0.81NRAC - 0.19BT + 0.67DAF$	0.99**
$RG = -82 + 0.32NG + 220TG + 0.28DAF$	0.99**
$RG = -0.86 + 0.37NG + 228TG - 0.09BT$	0.99**
$RG = -0.87 + 0.35NG + 242TG$	0.99**
$RG = 4.1 + 0.32NG$	0.96**

******, Indica $P < 0.01$. R^2 indica el coeficiente de determinación.

Modelo que estima el RG y la BT en función de la DAF.

La DAF es un índice que indica el tamaño y duración de la maquinaria para producir materia seca (Escalante y Kohashi, 2015). Es de esperarse una relación con la BT y el RG. El grado de esta relación podría variar con el cultivar y las condiciones climáticas donde se desarrolla el cultivo. En la Figura 1, se observa que la relación RG y BT en función de la DAF se ajustó a un modelo de polinomio de segundo grado. Lo que indica que el incremento en RG y BT es hasta cierto límite y que existen otros factores que limitan una mayor respuesta a mayores valores de DAF.

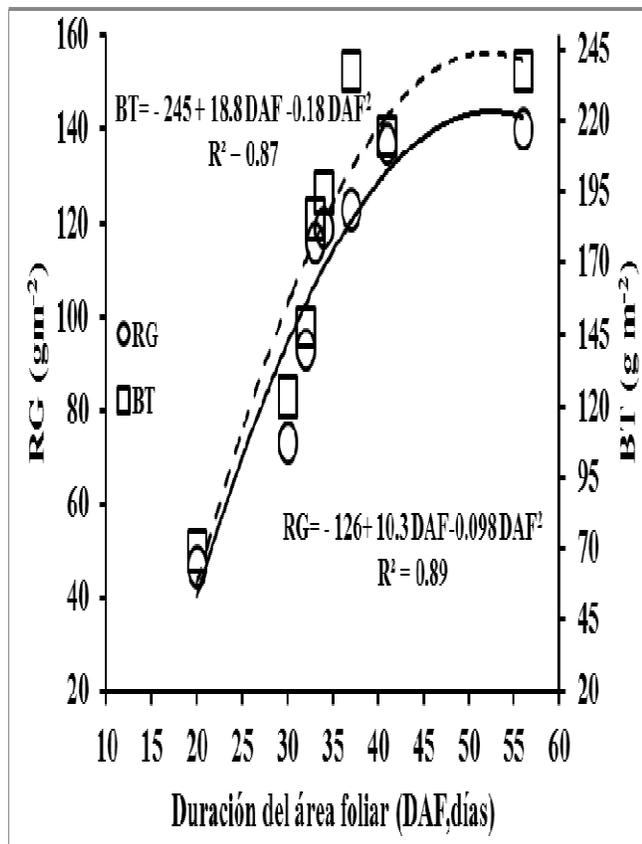


Figura 1. Rendimiento en grano y biomasa en función de la duración del área foliar en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Canario 107. Iguala Gro., México.

Modelos que estiman la DAF, BT y RG en función de la ETC, UC y RAF.

Puesto que los cambios en el RG presentan una relación alta con la BT y DAF (Tabla 3), se estudiaron estas variables para que mediante el procedimiento Stepwise, seleccionar los índices climáticos (ETC, UC y RAF) que mejor estimen la DAF, BT y RG, con un 99% de probabilidad. Así, para estimar el RG y la DAF que requiere en el modelo, la ETC, UC y la RAF, que explican los cambios en éstas variables en un 97% y 98% ,respectivamente. La BT requiere para su estimación la inclusión en el modelo de la ETC y las UC, que explican en 95% los cambios en la BT (Tabla 6).

Tabla 6. Modelos que estiman el RG, BT y la DAF en función de la ETC, UC y RAF.

MODELO	R^2
$DAF = -41 + 0.87ETC + 0.08UC - 0.33RAF$	0.98**
$RG = -228 + 0.55ETC + 0.104UC - 0.012RAF$	0.97**
$BT = -413 + 1.17ETC + 0.20UC$	0.95**

******, Indica $P < 0.01$. R^2 es el coeficiente de determinación

Conclusiones

Para las condiciones en que se realizó el presente estudio, a excepción del tamaño del grano y el número de granos por vaina, el rendimiento en grano del frijol Canario 107, presenta una relación alta con sus componentes morfológicos, la biomasa y la duración del área foliar.

El número de granos, presenta una relación alta con el número de vainas y éstas a su vez con el número de racimos, la biomasa y la duración del área foliar.

El modelo que mejor estima el rendimiento en grano involucra al número de granos, tamaño del grano y la duración del área foliar o la biomasa.

El rendimiento en grano y la biomasa en función de la duración del área foliar, presentaron una relación que se ajustó a un polinomio de segundo grado.

En relación a los índices del clima, el modelo que mejor explica el rendimiento en grano y la duración del área foliar involucra la evapotranspiración del cultivo, las unidades calor y la radiación fotosintéticamente activa

Referencias

- Amador-Ramírez, M. D.; Acosta-Díaz, E.; Medina-García, G. and Gutiérrez-Luna, R. (2007). An empirical model to predict yield of rainfed dry bean with multi-year data. *Rev. Fitotec. Mex.* 3:311-319.
- Báez-González, A. D.; Kiniry, J. R.; Maas, S. J.; Tiscareño, L. M.; Macias, J. C. M.; Richardson, C. W.; Salinas, J. G. and Manjarrez, J. R. (2005). Large-area maize yield forecasting using leaf area index based yield model. *Agron. J.* 97:418-425.
- Bahia, W., E. O. Brunini, M. Trevizan B., J. Lopes de C., P. Boller G., R. A. Dias K., A. L. Mello M., J. C. Alves P., N. Bartoletto, E. Martins P., M. Sakai, L. A. Saes, E. J. Ambrosano, S. A. Moraes C., e L. C. Paterno S. 2000. Estimativa de temperature base e graus-dia para feijoeiro nas diferentes fases fenológicas. *Rev. Bras. Agrometeorol. Santa Maria* 8: 55-61.
- Bennink M (2005). Eat beans for good health. *Annual Report of Bean Improvement Cooperative* 48:1-5.
- Bollero, G.A., Bullock D.G. y Hollinger S.E. (1996). Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area, and plant development. *Agron. J.* 88: 385-390.
- Doorenbos, J. y Pruitt. D.O. (1977). Crop water requirements. *Irrig. and Drain. Paper* 24. Food and Agric. Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Escalante Estrada, J.A. 1999. Area foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra* 17: 149-157.
- Escalante Estrada J. Alberto, Escalante E. L. Enrique y Rodríguez G. María Teresa (2001). Producción de frijol, en dos épocas de siembra: su relación con la evapotranspiración, unidades calor y radiación solar en clima cálido. *Terra* 19(4):309-315.
- Escalante-Estrada J.A.; Rodríguez González M.T.; Escalante Estrada Y.I. (2013). Aplicación dividida de nitrógeno, su efecto sobre la eficiencia agronómica, rendimiento y componentes en frijol. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 1:52-55.
- Escalante-Estrada J.A.; Kohashi-Shibata J. (2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. *Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.* 84 p.
- Escalante-Estrada J. A.; Rodríguez González M. T.; Escalante Estrada Y. I. (2016). Modelos empíricos que estiman la biomasa en función de la radiación interceptada y el índice de área foliar en girasol. pág. 53-58. En: D. Sepúlveda, F. Pérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar; L. Godínez (editores). *Matemáticas Aplicadas. Handbook. ECORFAN, Texcoco de Mora, México.*

- Flores, M.J., J.L. Chan C. y A Bravo L. (1985). Fenología de maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas. II Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico. *Fitotecnia* 7: 66-81.
- Fuenzalida, J.P., R.E. Rodríguez H. y F. Santibáñez Q. (1993). Eficiencia en el uso del agua y productividad de maíz. Un modelo simple para predecir evapotranspiración del cultivo. *Agro-Ciencia*. Chile. 9(2): 87-99.
- García E. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen. 4ª edición. UNAM. México, D.F. 217 p.
- Infante, N.; Madriz, P. y González, T. (2003). Fases de desarrollo y componentes del rendimiento de tres cultivares de frijol mungo [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] en Maracay, Aragua, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 20:417-429.
- Lobell, D. B.; Ortiz-Monasterio, J. I. and Falcon, J. I. (2007). Yield uncertainty at the field scale evaluated with multi-year satellite data. *Agric. Syst.* 92:76-90.
- Muchow, R.C., T.R. Sinclair y J.M. Bennett. (1990). Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agron. J.* 82: 338-343.
- Ramírez-Vallejo, P. and Kelly, J. D. (1998). Traits related to drought resistance in common bean. *Euphytica*. 99:127-136.
- Righini R. y Grossi Gallegos H. (2005). Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en San Miguel, provincia de Buenos Aires. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 9:11.01-11.04. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Robertson, L. S. y R. D. Frazier. 1978. Dry bean production, principles and practices. Cooperative Extension Service. Agric. Exp. Stn. Michigan State University. Ann Arbor, MI.
- Rosales S.R., Acosta G.J.A., Muruaga M. J. S., Hernández C. J. M., Esquivel E.G. y Pérez H.P. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico no 6. SAGARPA, INIFAP, CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo Estado de México. México. 148 p.
- Shenkut, A. A. and Brick, M. A. (2003). Traits associated with dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) productivity under diverse soil moisture environments. *Euphytica*. 133:339-347.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2016). URL: <http://www.siap.gob.mx>.
- Singh, P. S. (1995). Selection for water stress tolerance in interracial populations of common bean. *Crop Sci.* 35:118-124.
- Siqueira, P.R. y E. Palacios V. (1985). Función de respuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a variaciones de humedad del suelo en tres etapas fenológicas y aspectos fisiológicos. *Agrociencia* 59: 39-54.
- Snyder, R.L. (1985). Hand calculating degree days. *Agric. For. Meteorol.* 35: 353-358.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2001). SAS/STAT User's Guide Release 9.1 ed, Cary, NC, USA.
- Undersander, D.J. y S. Christiansen. (1986). Interactions of water variables and growing degree days on heading phase of winter wheat. *Agric. For. Meteorol.* 38: 169-180.