

## **Modelos que describen la distribución del rendimiento, sus componentes y radiación solar en ayocote en espaldera de tripie**

ESCALANTE-ESTRADA, José Alberto Salvador, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, María Teresa y ESCALANTE-ESTRADA, Yolanda Isabel

J. Escalante`, M. Rodríguez` e Y. Escalante ``

`Postgrado en Botánica. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Mpio. de Texcoco, Estado de Méx., México.56230

`` Instituto de Investigación Científica área de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo Guerrero México  
jasee@colpos.mx

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

The objective of the study which was carried out under the regime of rain, with planting on 3 may 2015 in Montecillo, Mexico, Mexico's temperate climate was to know the profile and distribution model of the grain yield (YG), number of grains (GN), the grain size (GS), number of pods (PN) and intercepted radiation (IR) in the canopy of climbing runner bean in trellis type "tepee", with pattern 80 x 40 cm. The GY, GN, PN were higher in the lower layers of the canopy and lower at the top following a pattern with adjustment to a power and linear model for the RI. The GS was similar in the strata. The model that best estimated the GY was  $GY = 15.8 GS + 0.73 GN + 0.22 PN$ .

## 2 Introducción

El Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es un cultivo de importancia para los agricultores de pequeñas extensiones del altiplano de México (1000 a 2800 msnm), por ser parte de su dieta alimenticia (Miranda, 1990). La diversidad de ayocote es amplia en colores, tamaño de semilla, y color de flor (Castillo *et al.*, 2006; Ramírez-Pérez y Díaz-Ruiz, 2009). En cuanto al contenido de proteína en el grano, se ha reportado cerca de 18% en el cultivar Blanco Tlaxcala (Pérez *et al.*, 2002) y hasta 37% (cultivar Jalisco 132), 38% (Morelos 32) y 38% de almidón (cultivar Puebla 57A), como reportan Ortega y Rodríguez (1979). También se han reportado diferencias en contenido de proteína debido al color del grano: el color negro presenta un contenido de proteína (24 %) superior al de color morado que presenta 22%. En contraste, el contenido de cenizas, grasa y carbohidratos es mayor en el morado que en el negro (Teniente-Martínez *et al.*, 2016).

El grano del ayocote contiene lectinas como muchas leguminosas. Estas moléculas pueden ser nocivas e incluso tóxicas para el hombre y los animales, por lo que necesitan ser removidos o inactivados por medio de tratamiento con calor o lavados para poder ser consumidos (Grant *et al.*, 1991). Algunas lectinas tienen actividad quimiopreventiva contra cáncer (González de Mejía y Priscaru, 2005) como la del frijol tépari (*P. acutifolius*) que afecta la proliferación y sobrevivencia de diferentes tipos de células cancerígenas (López, 2007). Así mismo, la lectina del ayocote tiene actividad citotóxica sobre estas células transformadas, que depende de la concentración de lectina que se administre (Acosta-Santoyo *et al.*, 2007).

El cáncer es una de las principales causas de mortandad en el mundo, por lo que se ha buscado el uso de componentes nutraceuticos de origen vegetal para su tratamiento, tal es el caso de los péptidos bioactivos obtenidos principalmente de las leguminosas, en donde el ayocote puede ser una fuente promisoría de estos compuestos. Así, los estudios enfocados al conocimiento sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de rendimiento de esta especie se justifican. El ayocote presenta hábito de crecimiento indeterminado arbustivo e indeterminado trepador. Este último requiere de tutores para una mayor expresión del crecimiento y rendimiento. El más utilizado es el maíz como espaldera viva o el uso de tutores de madera lo cual es menos común. Estudios en *Phaseolus vulgaris* L. trepador indican que el tipo de espaldera influye sobre la producción de grano (Escalante y Kohashi, 1983).

Además bajo condiciones limitantes de agua y salinidad el Ayocote supera al frijol común con mayor tamaño del dosel vegetal y tasa de crecimiento más alta (Escalante *et al.*, 2014). Para la región, se reporta un rendimiento en espaldera de carrizo tipo seto de 227 gm<sup>-2</sup>, con cultivares procedentes del Estado de Tlaxcala (Rojas *et al.*, 2015), 237 gm<sup>-2</sup> para cultivares de Juchitepec Edo., de México (Escalante *et al.*, 2015a) y de 276 g m<sup>-2</sup> para procedencias de San Martín Texmelucan, Puebla (Escalante *et al.*, 2010); y entre 120 y 174 gm<sup>-2</sup> cuando la espaldera es el maíz (Escalante *et al.*, 2015b).

Por otra parte, el rendimiento de ayocote puede variar en función de la fecha de siembra. Ayala *et al.* (2006) encontraron que el rendimiento de ayocote en siembras del 2 de mayo (529 g por planta, con riego de auxilio) fue superior al de siembras del 17 de junio (334 g por planta) con densidad de población de 15.6 plantas m<sup>-2</sup>.

Conocer el perfil de distribución de grano y sus componentes en los diferentes estratos de una espaldera, determinar el modelo que explique dicha distribución y la relación con la radiación interceptada por el dosel ayudaría a generar estrategias de manejo del cultivo para buscar incremento en el rendimiento. Este fue el objetivo del presente estudio.

## 2.1 Materiales y métodos

El estudio se realizó bajo condiciones de lluvia en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O, a 2250 m de altitud), con clima templado, en un suelo Entisol de origen aluvial, densidad aparente entre 1.5-1.8, franco arenoso y con pH de 7.0.

La siembra de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) de hábito indeterminado trepador, proveniente del estado de Tlaxcala fue el 3 de mayo del 2015, en espaldera tipo “tripie” a la densidad de 3.12 plantas m<sup>-2</sup> (80 x 40 cm). Se aplicaron dos riegos de auxilio el 20 de julio y 3 de agosto.

Se registraron variables fenológicas como días a emergencia, inicio de floración, madurez fisiológica y cosecha. Por estrato de 30 cm, a partir de la parte superior y hacia la base de la planta, se registró el 29 de agosto (112 días después de la siembra, dds) entre las 1100 y 1300 horas la radiación incidente (RS) con un sensor lineal de quantum y la radiación interceptada (RI, %).

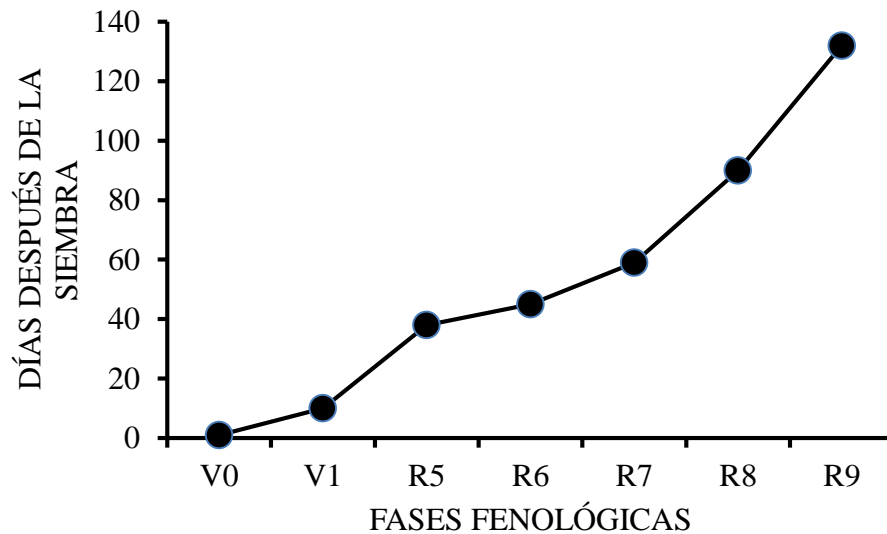
A la cosecha por espaldera o mata, el rendimiento en grano (RG, g m<sup>-2</sup>), el tamaño del grano (peso individual del grano, g, TG); el número de granos m<sup>-2</sup> (NG), el número de vainas con grano m<sup>-2</sup> (NV), el número de granos por vaina (GV) y el rendimiento por vaina (RV, g). A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza para determinar la diferencia significativa entre estratos y la prueba de comparación de medias de Tukey 0.05.

## 2.2 Resultados y discusión

### 2.2.1 Fenología y elementos del clima

La emergencia del cultivo ocurrió a los 8, la floración a los 45 y la madurez fisiológica a los 140 dds . La T<sub>máx</sub> y T<sub>mín</sub> fue de 26.8 y 10.8°C durante el período vegetativo (PV) y durante el reproductivo (PR) de 24.7 y 13.6°C, respectivamente. La suma de la PP fue de 288 y 210 mm durante el PV y PR, respectivamente. Cabe señalar que la T<sub>mín</sub> más alta, aunado a una PP más baja durante el PR pudo limitar una mayor expresión del rendimiento en grano.

**Gráfico 2** Días a ocurrencia de fases fenológicas en Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Montecillo Mpio. De Texcoco, Estado de México, México. Verano 2015



### 2.2.2 Rendimiento en grano y sus componentes

El RG, NG y NV mostraron diferencias significativas entre estratos. En contraste, el TG, GV y RV fue estadísticamente similar entre estratos y fue en promedio de 0.892 g, 2.5 y 2.2 g, respectivamente (Tabla 2). En el estrato de 0-30 cm el RG representó el 40% del total, seguido del estrato de 30-60, 60-90 y 90-120 cm que representó el 23, 20 y 17%, respectivamente. Esto indica que la aparición de las primeras vainas en los estratos inferiores del dosel determina el 63% del RG total (609 g por espaldera o planta). Así, para incrementar el RG por espaldera se requiere incrementar el NG y NV particularmente en los estratos superiores. El modelo que describe el patrón de distribución del RG, NG y NV en función de la altura de los estratos fue del tipo potencial ( $Y = AB^x$ ) (Gráfico 2.1).

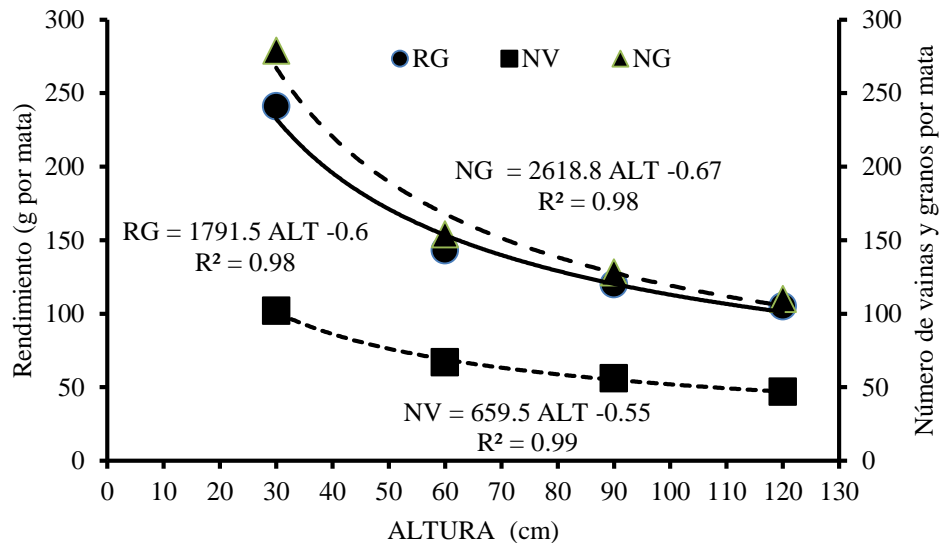
Cabe señalar que el RG ( $609 \text{ g planta}^{-1}$ ) del Ayocote en espaldera tipo “tripie” del presente estudio es superior a la media de cultivares de Ayocote ( $526 \text{ g planta}^{-1}$ ) reportado para Montecillo por Ayala *et al.* (2006) bajo similar fecha de siembra y al reportado ( $120$  y  $174 \text{ g planta}^{-1}$ ) por Escalante *et al.* (2015b) utilizando como tutor la planta de maíz. El TG, GV y RV fue similar en los estratos estudiados, siendo en promedio de 0.892 g, 2.5 GV y 2.2 g vaina<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabla 2** Distribución del rendimiento en grano (RG), tamaño del grano (TG), número granos (NG), vainas (NV), granos por vaina (GV) y rendimiento por vaina (RV) de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) por estratos, en la espaldera convencional. Montecillo Mpio de Texcoco, Edo. de Méx. Verano 2015

Estratos (cm)	RG (g)	%	TG (g)	NG	NV	GV	RV (g)
0-30	241 a	40	0.866	279 a	102 a	2.7	2.4
30-60	143 ab	23	0.950	154 b	67 ab	2.5	2.1
60-90	120 b	20	0.877	128 b	56 b	2.4	2.1
90-120	105 b	17	0.874	110 b	47 b	2.4	2.1
Σ	609	100	--	671	272	--	--
Media	152		0.892	168	68	2.5	2.2
Prob.F.	***		NS	***	***	NS	NS
Tukey 0.05	102		0.372	78	113	0.5	0.6

En columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales: \*\*\* PF> 0.001. NS = diferencias no significativas (P>0.05)

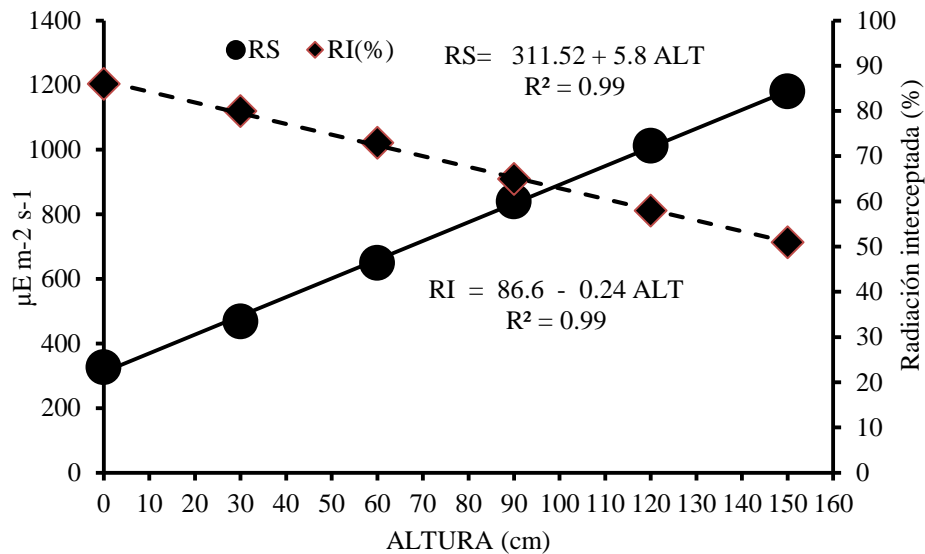
**Gráfico 2.1** Distribución del rendimiento en grano (RG), número de granos (NG) y número de vainas con grano (NV) en el perfil del dosel de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Datos por mata. Montecillo Mpio. de Texcoco, Estado de México. México. Verano 2015



### 2.2.3 Radiación incidente e interceptada

En la Figura 3, se observa que la RS fue más alta en la parte superior del dosel y disminuyó hacia la base del mismo. En contraste, la RI fue más alta en los estratos inferiores y más baja en la parte superior del dosel. Esto puede estar relacionado con la distribución en el dosel del Ayocote del número de hojas, área foliar (componentes fisiológicos del RG, Escalante y Kohashi, 2015), NV, NG (componentes morfológicos) y en consecuencia el RG. El modelo de ajuste para la distribución de RS y RI fue del tipo lineal ( $Y = A + BX$ ) con pendiente positiva para RS y negativa para RI.

**Gráfico 2.2** Distribución de la radiación fotosintéticamente activa incidente (RS) y radiación interceptada (RI,%) en el perfil del dosel de Ayocote (*Phaseolus vulgaris* L.). Montecillo Mpio. de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2015



#### 2.2.4 Relación entre el RG y sus componentes

El análisis de correlación presentado en la Tabla 2.1, indica que el RG mostró un coeficiente de correlación ( $r$ ) alto con el NG (0.92) y NV (0.96), lo que sugiere que para buscar incrementos en el RG se debe buscar incrementar en orden ontogénico el NV y NG los cuales entre ellos, también presentan una correlación alta (0.91). El RV, TG y GV mostraron una más baja correlación con el RG (0.68, 0.48 y -0.06, respectivamente). Por otra parte, la relación negativa entre TG y GV (-0.71), indica limitación en la fuente de fotosintatos para producir mayor GV, puesto que el TG es una característica con mayor influencia del genotipo que por el cambio ambiental en el dosel.

**Tabla 2.1** Coeficiente de correlación entre el rendimiento en grano (RG) y sus componentes de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L) en espaldera convencional. Montecillo Mpio de Texcoco, Edo. de Méx. México. Verano 2015

	TG	NG	NV	GV	RV
RG	0.48**	0.92***	0.96***	-0.06 NS	0.60***
TG		0.13 NS	0.43 *	-0.71 **	0.48**
NG			0.91***	0.23 NS	0.48**
NV				-0.17 NS	0.39 *
GV					0.22 NS

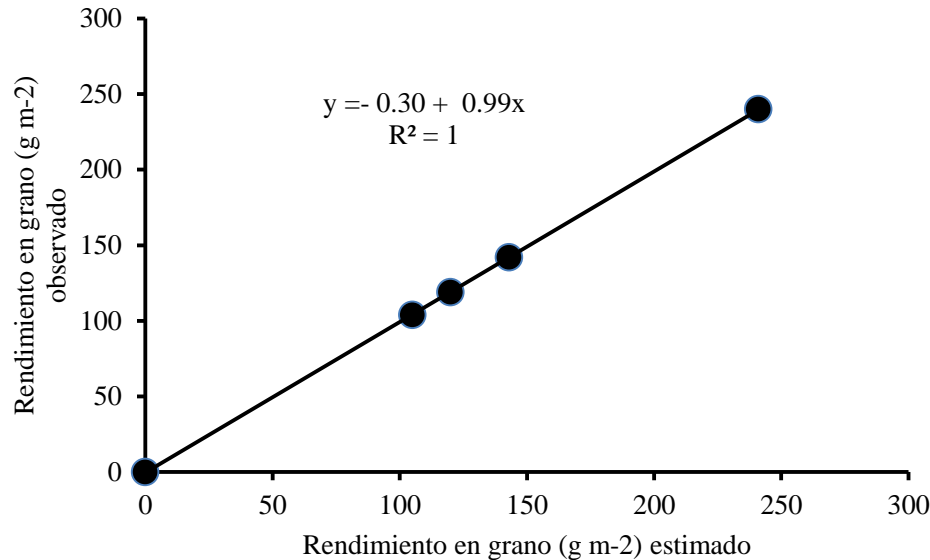
RG: rendimiento en grano; TG: tamaño del grano; NG: número granos; NV: vainas; GV: granos por vaina y RV: rendimiento por vaina. \*\*\*, \*\*, \*  $P > 0.001, 0.01, 0.05$ , respectivamente. NS = diferencias no significativas ( $P > 0.05$ )

#### 2.2.5 Modelo que estima el rendimiento en grano en función de sus componentes morfológicos

En la búsqueda del mejor modelo de estimación del RG en función de sus componentes morfológicos, se encontró que NV, NG y TG fueron los componentes del modelo aditivo para lograr una mejor estimación del RG. Así, el modelo fue  $RG = 15.8 \text{ TG} + 0.73 \text{ NG} + 0.22 \text{ NV}$ ; con  $R^2 = 0.99$ \*\*\*.

El Gráfico 2.3, presenta la ecuación lineal que describe la relación entre el RG estimado y el observado, con un error de estimación mínimo.

**Gráfico 2.3** Rendimiento observado en función del rendimiento estimado mediante el modelo  $RG = 15.8 TG + 0.73 NG + 0.22 NV$ ;  $R^2 = 0.99$  en Ayocote (*Phaseolus vulgaris* L.). Montecillo Mpio.de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2015



Finalmente, estos resultados indican que para buscar incrementos en el RG del Ayocote en espaldera tipo “tripie”, se requiere conocer la distribución en el dosel, de los componentes con mayor relación con el RG como el NG y NV y así generar las estrategias para incrementar su magnitud en los estratos en donde el número de éstos es más bajo.

## 2.3 Conclusiones

El rendimiento en grano, el número de granos y número de vainas son más altos en los estratos inferiores y disminuyen hacia la parte superior del dosel vegetal. El patrón de distribución se ajusta a un modelo de tipo potencial. La radiación interceptada por el dosel presenta un comportamiento semejante. El modelo que mejor estima el rendimiento en grano de Ayocote es de tipo lineal que involucra como componentes al número de vainas, número de granos y el tamaño del grano.

## 2.4 Referencias

Acosta-Santoyo G., López Martínez F.J, Mendiola Olaya E., Blanco Labra A. y García-Gasca T.(2007). Efecto de una lectina de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) sobre la sobrevivencia y proliferación de células transformadas. [http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2007/1\\_9UAQAcosta-Santoyo.pdf](http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2007/1_9UAQAcosta-Santoyo.pdf)

Ayala Garay, Oscar Javier; Pichardo González, Juan Manuel; Estrada Gómez, Julio Arturo; Carrillo Salazar José Alfredo y Hernández Livera Adrián.(2006). “Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayocote en el Valle de México” en Agricultura Técnica en México, 32 (3): 313-321.

Castillo Mendoza, Mónica; Ramírez Vallejo, Porfirio; Castillo González, Fernando y Miranda Colín Salvador. (2006). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del Estado de México” en *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29: 111-120.

Escalante Estrada José Alberto Salvador, Rodríguez González María Teresa y Escalante Estrada Yolanda Isabel. (2014). Análisis de crecimiento de *Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L. en suelo alcalino. pág.17-23. En: aportaciones en Matemática y Química. Daniel Sepúlveda J. Francisco Pérez Soto, Esther Figueroa Hernández (Editores). Universidad Autónoma de Chapingo. ISBN: 978-607-12-0353-3.

Escalante-Estrada J.A.S., Rodríguez González M.T. y Escalante Estrada Y.I. (2015a). Rendimiento y Eficiencia en el uso del agua de *Phaseolus coccineus* L. con hileras intercaladas de *P. vulgaris*.L.pp:565-566.en: López-Reynoso, J.J.; Martínez-Solís, J.; Magaña-Lira, N.(eds). Memoria del III congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias agronómicas Chapingo, Estado de México. México.

Escalante-Estrada José Alberto Salvador, Rodríguez-González María Teresa, Ramón-Díaz Ruiz, Rojas-Victoria Néstor y Escalante-Estrada Yolanda Isabel. (2015 b). Rendimiento de ayocote en espaldera viva de maíz y girasol. Agricultura sostenible. Armonía entre el hombre y la naturaleza. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Juan Antonio Villanueva Jiménez y Ramón Jarquín Gálvez (Coord.)ISBN 978-607-8359-94-3.

Escalante Estrada J. Alberto S., R. Díaz Ruiz, Ma. Teresa Rodríguez González y M. Nieves Cante. (2010).Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes de accesiones de ayocote. pp:335-339. En: Foro regional de Agricultura sostenible. Editores: Ramón Díaz Ruiz, Jesús Felipe Alvarez Gaxiola y Arturo Huerta de la Peña. Colegio de Postgraduados .Campus Puebla. México.ISBN:978-968-839-580-6.

Escalante Estrada, J.A.S. and Kohashi Shibata, J. (1983). Seed yield and its components in pole beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in three types of trellises. Annual Report Bean Improvement Cooperative. Vol. 26: 75-76.

Escalante, E. J. A. S. y Kohashi S. J. (2015). El rendimiento y crecimiento de frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.

Grant, G., More L.J.; McKenzie, N.H.; Dorward, P.M.; Stewart, J.C.; Telek, L. y Pusztai. (1991). A survey of the nutritional and haemagglutination properties of several tropical seeds. Livestock Research for Rural Development, 3:3.

González de Mejía E. y Prisecaru V.I. (2005). Lectins as Bioactive Plant Proteins: A Potential in Cancer Treatment. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 45:425-445.

López Martínez J. (2007). Efecto *in vitro* de una lectina de frijol tépari sobre células de cáncer de colon humano. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. 32-43.

Miranda Colín, Salvador. (1990), Identificación de las especies cultivadas del género *Phaseolus*. Colegio de Postgraduados.Centro de Genética. México.

Ortega Delgado María Luisa y Consuelo Rodríguez Coquíez.(1979).Estudio de carbohidratos en variedades mexicanas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.). Agrocencia 37:33-49.



Pérez H. P., Esquivel E. G., Rosales S. R., Acosta-Gallegos J. A. (2002), “Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México” en Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 52 (2): 172-180.

Ramírez-Pérez, Ana Rosa y Díaz-Ruiz, Ramón (2009), “Descripción de variedades criollas de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) mediante caracteres de la semilla” en Pérez Vázquez, Arturo (ed), Agricultura sostenible: Obligada ante los retos, Colegio de Postgraduados, Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. México.

Rojas Victoria N.J., Escalante Estrada J.A.S.; Rodríguez González M. T. (2015) Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. Ann. Rep. Bean. Improv. Coop. No. 58:129-130.

Teniente-Martínez G. A, González Cruz L.A, Cariño-Cortés R. B , Bernardino-Nicanor A. (2016). Caracterización de las proteínas del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 1, No. 1 1-6.