

RENDIMIENTO, CALIDAD NUTRIMENTAL Y RENTABILIDAD DEL FRIJOL EJOTERO DE TEMPORAL EN SAN PABLO IXAYOC, MÉXICO

Nicolás Salinas-Ramírez^{1*}; José Alberto Salvador Escalante-Estrada¹;
María Teresa Rodríguez-González¹; Eliseo Sosa-Montes²

¹Colegio de Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica.

km 36.5 carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México,

MÉXICO. C.P. 56230. Tel. 01(595) 95 202 00 ext.1330.

Correo-e: nicoolas2@colpos.mx (*Autor para correspondencia).

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia.

km 38.5 carretera México-Texcoco. Chapingo, Texcoco, Estado de México,
MÉXICO. C.P. 56230.

RESUMEN

Una de las estrategias para elevar el rendimiento y la calidad nutricional en las regiones agrícolas es la búsqueda de cultivares con mayor adaptación a diferentes condiciones ambientales. El objetivo de este estudio fue caracterizar cultivares de frijol ejotero con base en su fenología, crecimiento, rendimiento, calidad nutricional y rentabilidad, en clima templado y condiciones de secano. Tres variedades de hábito de crecimiento determinado, 'Opus', 'Strike' y 'Black Valentine', y una de crecimiento indeterminado, 'Hav-14', fueron sembradas el 7 de mayo de 2008 en San Pablo Ixayoc, Estado de México, con densidad de 6.25 plantas·m⁻². Se encontraron diferencias en el ciclo biológico desde 90 a 199 días al último corte, así como en rendimiento y número de ejotes. Estas diferencias se relacionaron en mayor grado con la precipitación acumulada (PP, $r = 0.83^{**}$), la evapotranspiración total del cultivo (ETc, $r = 0.71^{*}$) y unidades térmicas acumuladas (UC, $r = 0.65^{*}$). La variedad Opus mostró el mayor porcentaje de minerales, fósforo, FDA, lignina, FDN y proteína. El ingreso neto más alto se obtuvo con 'Opus' y 'Black Valentine'. No obstante, en un periodo de cinco años (vida media de la espaldera) 'Hav-14' ofrece mayor ventaja desde el punto de vista económico. Estos resultados sugieren que 'Hav-14', 'Opus' y 'Black Valentine' serían los cultivares más apropiados para lograr mayor producción bajo condiciones de lluvia estacional en el clima templado de San Pablo Ixayoc.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Phaseolus vulgaris*, 'Opus', 'Strike', 'Black Valentine', 'Hav-14'.

YIELD, NUTRITIONAL QUALITY AND PROFITABILITY OF GREEN BEANS OF RAINFED IN SAN PABLO IXAYOC, MEXICO

ABSTRACT

One strategy to increase the yield and nutritional quality in agricultural regions is the search for cultivars with better adaptation to different environmental conditions. The aim of this study was to characterize green beans cultivars based on their phenology, growth, yield, nutritional quality and profitability, in temperate climate and rainfall conditions. Three varieties of determinate growth habit 'Opus', 'Strike' and 'Black Valentine' and 'Hav-14' of indeterminate growth were planted on May 7, 2008 in San Pablo Ixayoc Mexico, at a density of 6.25 plants·m⁻². We found differences in terms of life cycle from 90-119 days to the last cut, as well as in yield and number of green beans. These differences were related to a greater degree with accumulated rainfall (PP, $r = 0.83^{**}$), total crop evapotranspiration (ETc, $r = 0.71^{*}$) and accumulated thermal units (TU, $r = 0.65^{*}$). The variety 'Opus' showed the highest percentage of minerals, phosphorus, ADF, lignin, NDF and protein. The highest net income was for 'Opus' and 'Black Valentine'. However, in a period of five years (half-life of the trellis) 'Hav-14' promises more advantage from the economic point of view. These results suggest that 'Hav-14', 'Opus' and 'Black Valentine' would be the most appropriate cultivars for greater production under rainfall conditions in temperate climate in San Pablo Ixayoc.

ADDITIONAL KEYWORDS: *Phaseolus vulgaris*, 'Opus', 'Strike', 'Black Valentine', 'Hav-14'.

INTRODUCCIÓN

El frijol ejotero es una hortaliza de importancia en la dieta de países como Turquía, Estados Unidos, Chile, Brasil y México, donde su consumo *per capita* es 6.5, 3.5, 3.2 1.2 y 1.1 kg, respectivamente (Peixoto *et al.*, 2001).

En México su bajo consumo se relaciona con cuestiones culturales, ya que desde épocas prehispánicas se utilizaba más como grano seco que como ejote (Kaplan, 1965). Además, los cultivares utilizados actualmente no están bien adaptados y tienen rendimiento promedio de 3.7 t·ha⁻¹, que no satisface la demanda interna de 1.1 kg *per capita* (Salinas *et al.*, 2008). Otro factor que contribuye a este bajo rendimiento en las áreas de agricultura de secano es la escasa y heterogénea distribución de la precipitación (Roy *et al.*, 2000).

En congruencia con la agricultura sostenible, que promueve el mejor aprovechamiento de los recursos edáficos, genéticos, hídricos y humanos, que mejoren la calidad de vida del productor (Quintero *et al.*, 2005), se propone identificar cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento, que satisfagan sus necesidades hídricas con la precipitación disponible e incrementen el rendimiento y los ingresos del productor.

En la actualidad en Estados Unidos y Francia se han obtenido más de 120 cultivares de frijol ejotero dentro de los que se encuentran 'Blue Lake', 'Kentucky Wonder 765', 'Oregón', 'Black Valentine', 'Contender', 'Bronco', 'Strike', 'Opus', 'OR 900', 'Tender-green', 'Top Crop', 'AFN', 'Silvester' y 'La Victoria' (Adsule *et al.*, 2004), que presentan alto potencial productivo bajo condiciones de riego (más de 10 t·ha⁻¹) y de los cuales se tiene interés en corroborar su comportamiento bajo las condiciones de lluvia estacional en nuestro país. Sin embargo, el rendimiento de este cultivo, así como sus componentes directos (número de vainas, número de hojas y área foliar), son influidos por condiciones edáficas y ambientales (Roy *et al.*, 2000; Abdel-Mawgoud *et al.*, 2005), específicamente por la cantidad y distribución de la precipitación (Roy *et al.*, 2000), la temperatura (Tsukaguchi *et al.*, 2005) y de la evapotranspiración (Omae *et al.*, 2007). Además, la calidad nutrimental del ejote es afectada por los cambios en los elementos del tiempo (Salinas *et al.*, 2008). Por ello, es necesario identificar cultivares de mayor rendimiento y calidad nutrimental que se adapte a la región en estudio.

Los objetivos de la investigación fueron estudiar la fenología del frijol ejotero, el rendimiento de ejote y sus componentes directos, así como la calidad nutrimental del ejote en cultivares de diferente hábito de crecimiento, y determinar la relación entre las unidades térmicas acumuladas, la evapotranspiración y la precipitación pluvial estacional con el crecimiento y rendimiento de ejote.

INTRODUCTION

Green bean is a vegetable of importance in the diet of people from countries like Turkey, United States, Chile, Brazil and Mexico, where the consumption *per capita* is 6.5, 3.5, 3.2, 1.2 and 1.1 kg, respectively (Peixoto *et al.*, 2001).

The low consumption in Mexico is related to cultural issues, because since pre-Hispanic times, this vegetable was primarily used as dry grain than as green bean (Kaplan, 1965). Moreover, cultivars currently used are not well adapted and have average yields of 3.7 t·ha⁻¹, which does not meet the domestic demand of 1.1 kg *per capita* (Salinas *et al.*, 2008). The limited and heterogeneous distribution of rainfall (Roy *et al.*, 2000) is another factor contributing to this low yield in rainfed areas.

Consistent with sustainable agriculture, which promotes better use of soil resources, genetic resources, water resources and human resources to improve the quality of life of the farmer (Quintero *et al.*, 2005), it is aimed to identify cultivars of green beans of different grown habit, meeting their hydric needs using the rainfall available and increase yield and income of the farmer.

Currently, the United States and France have more than 120 cultivars of green beans among them: 'Blue Lake', 'Kentucky Wonder 765', 'Oregón', 'Black Valentine', 'Contender', 'Bronco', 'Strike', 'Opus', 'OR 900', 'Tender-green', 'Top Crop', 'AFN', 'Silvester' and 'La Victoria' (Adsule *et al.*, 2004), which have high productive potential under irrigation conditions (more than 10 t·ha⁻¹) and we have an interest in corroborating their behavior under seasonal rainfall conditions in our country. However, the yield of this crop and its direct components (number of pods, number of leaves and leaf area) are influenced by soil and environmental conditions (Roy *et al.*, 2000; Abdel-Mawgoud *et al.*, 2005), specifically by the amount and distribution of rainfall (Roy *et al.*, 2000), temperature (Tsukaguchi *et al.*, 2005) and evapotranspiration (Omae *et al.*, 2007). Moreover, the nutritional quality of green beans is affected by changes in climate elements (Salinas *et al.*, 2008). Therefore, it is necessary to identify cultivars with higher yield and nutritional quality that adapt to the region under study.

The aims of the study were to study the phenology, yield and direct components of green beans and their nutritional quality in cultivars with different growth habits, and determine the relationship between accumulated thermal units, evapotranspiration and seasonal rainfall with growth and yield of green beans.

MATERIALS AND METHODS

Characteristics of the site

This study was conducted during the rainy season in San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México (19° 33' N,

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de la localidad

El estudio se realizó durante la estación de lluvias en San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México (19° 33' N, 98° 47' O, a 2,600 msnm). En esta localidad se presenta clima templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 14.7 °C y 609 mm de precipitación (García, 2005).

Tratamientos y diseño experimental

Los cultivares utilizados fueron 'Opus', 'Strike' y 'Black Valentine', de hábito de crecimiento determinado, y 'Hav-14' de crecimiento indeterminado, que se cultivó en espaldera convencional (polines y malla tutora). La siembra se realizó el 7 de mayo de 2008, con una densidad de 6.25 plantas·m⁻², en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Variables evaluadas

Se registró la fenología y sus etapas vegetativas (V-1: emergencia, V-2: primer par de hojas primarias, V-3: primer par de hojas trifolioladas y V-4: tercer par de hojas trifolioladas) y reproductivas (R-5: prefloración, R-6: floración y F-7: formación de vainas) de acuerdo con los criterios presentados por Escalante y Kohashi (1993).

La cosecha de ejote se realizó cada tres días, cuando la vaina alcanzó una longitud de 10 cm. En total se realizaron siete cortes, donde se evaluó el peso fresco (kg·m⁻²) y número de ejotes·m⁻².

Los componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento se evaluaron a los 90 días después de la siembra (DDS): longitud del tallo (LT, en cm), número de nudos (NN), área foliar (AF, en dm²) y duración del área foliar (DAF, en días).

La calidad nutrimental se determinó, mediante un análisis químico proximal (Sosa, 1979). Se determinaron los contenidos de minerales, calcio y fósforo, carbohidratos solubles, fibra detergente ácido, lignina, fibra detergente neutro, hemicelulosa, proteína y extracto etéreo.

Para determinar el peso seco, los ejotes se colocaron en estufa de aire forzado (Modelo 28, THELCO) a 55 °C hasta obtener peso constante. Posteriormente se determinó el porcentaje de humedad de ejotes como el cociente de la diferencia entre los pesos fresco y seco, entre el peso seco, multiplicado por cien. Las muestras secas fueron molidas en molino eléctrico (Modelo Kb 5/10 JANKE AND KUNKEL INKA, GERMANY), con criba de 5 micras.

Índices y elementos del clima

A partir de la siembra y hasta el último corte se calcularon semanalmente las unidades térmicas acumuladas (UC °Cd, Snyder, 1985). Se consideró como temperatura base o umbral (Tb) 10 °C (Barrios-Gómez y López-Castañeda, 2009).

98°47' W, 2,600 m of altitude). This place has temperate climate with summer rainfall, mean annual temperature of 14.7 °C and 609 mm of rainfall (García, 2005).

Treatments and experimental design

The cultivars used were 'Opus', 'Strike' and 'Black Valentine' of determinate growth habit, and 'Hav-14' of indeterminate growth, which was grown in conventional trellis (poles and staking net). Sowing was performed on May 7, 2008, with a density of 6.25 plantas·m⁻², using a randomized complete block design with four replications.

Variables assessed

We recorded the phenology and vegetative stages (V-1: emergence, V-2: first pair of primary leaves, V-3: first pair of trifoliolate leaves and V-4: third pair of trifoliolate leaves) and reproductive (R-5: flowering, R-6: pre-flowering and F-7: pod formation) according to the criteria presented by Escalante and Kohashi (1993).

Green bean harvest was performed every three days, when the pod reached a length of 10 cm. In total, seven cuts were performed; fresh weight (kg·m⁻²) and number of green beans·m⁻² were evaluated.

Morphological and physiological components of yield were evaluated 90 days after sowing (DAS): stem length (SL, in cm), number of nodes (NN), leaf area (LA, in dm²) and duration of leaf area (LAD, in days).

The nutritional quality was determined using a proximate chemical analysis (Sosa, 1979). Content of minerals, calcium and phosphorus, soluble carbohydrates, acid detergent fiber, lignin, neutral detergent fiber, hemicellulose, protein and ether extract were determined.

Green beans were placed in a forced air oven (Model 28, THELCO) at 55 °C to constant weight to determine dry weight. Then, we determined the moisture content of green beans as the ratio of the difference between fresh and dry weight, divided by the dry weight, multiplied by one hundred. Dried samples were ground using an electric mill (Model Kb 5/10 JANKE AND KUNKEL INKA, GERMANY), with a sieve of 5 microns.

Indexes and climate elements

Accumulated thermal units were calculated weekly (TU °Cd, Snyder, 1985) from planting until the last cut. The temperature 10 °C was considered as base or threshold temperature (Tb) (Barrios-Gómez and López-Castañeda, 2009).

Crop evapotranspiration (ETc, en mm·d⁻¹, Doorenbos and Pruitt, 1986) was calculated and accumulated rainfall (PP, mm) was recorded. An economic analysis was also conducted, where gross income was calculated based on the price of six Mexican pesos·kg⁻¹ of green beans (Anonymous, 2011). According to the criteria outlined in Volke (1982), the fixed cost was assigned to the ground rent. For

Se calculó la evapotranspiración del cultivo (ETc, en mm·d⁻¹, Doorenbos y Pruitt, 1986), y se registró la precipitación acumulada (PP, en mm). Además, se realizó un análisis económico, en donde se calculó el ingreso bruto con base en precio de seis pesos·kg⁻¹ de ejote (Anónimo, 2011). Según el criterio señalado en Volke (1982), el costo fijo se asignó a la renta del suelo. Para el costo variable se consideró la preparación del suelo, la semilla, los agroquímicos, los jornales y la espaldera (en el caso del cultivar de crecimiento indeterminado).

Con excepción de los días a ocurrencia de las fases fenológicas, a los caracteres evaluados se les aplicó análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). También se realizaron análisis de correlación entre el rendimiento y los índices climáticos mediante el paquete estadístico SAS (Anónimo, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología del frijol ejotero y su relación con la temperatura y la precipitación

Los cultivares con crecimiento determinado presentaron el menor ciclo promedio (de siembra a último corte) con 93 días, comparados con 'Hav-14' de hábito indeterminado con 119 días (Figura 1). En la fase vegetativa (de V-1 a V-4), 'Opus' fue el más precoz (16 días), y 'Hav-14' el más

the variable cost, we considered soil preparation, seed, agrochemicals, wages and trellis system (for cultivars of indeterminate growth).

An analysis of variance and mean comparison test of Tukey ($P \leq 0.05$) were applied to the traits analyzed, except for the days to occurrence of phenological phases. Also correlation analysis between yield and climate indices were conducted using the statistical software SAS (Anonymous, 2002).

RESULTS AND DISCUSSION

Green beans phenology and its relationship with temperature and rainfall

The cultivars with determinate growth had the lowest average cycle (from sowing to final cut) at 93 days, compared with 'Hav-14' of indeterminate habit with 119 days (Figure 1). In the vegetative stage (from V-1 to V-4), 'Opus' was the earliest (16 days), and 'Hav-14' the latest (22 days). A similar trend was observed in the reproductive phase (R-5 and R-6), with 51 and 69 days, respectively.

However, 'Strike' had 68 and 90 days, to the first and seventh cut, respectively, while 'Hav-14' had 96 and 119 days, respectively. These differences in the occurrence of phenological stages related to green beans of growth habit have also been reported by Esquivel-Esquivel *et al.* (2006). The largest cycle of 'Hav-14' (119 days) was because during their

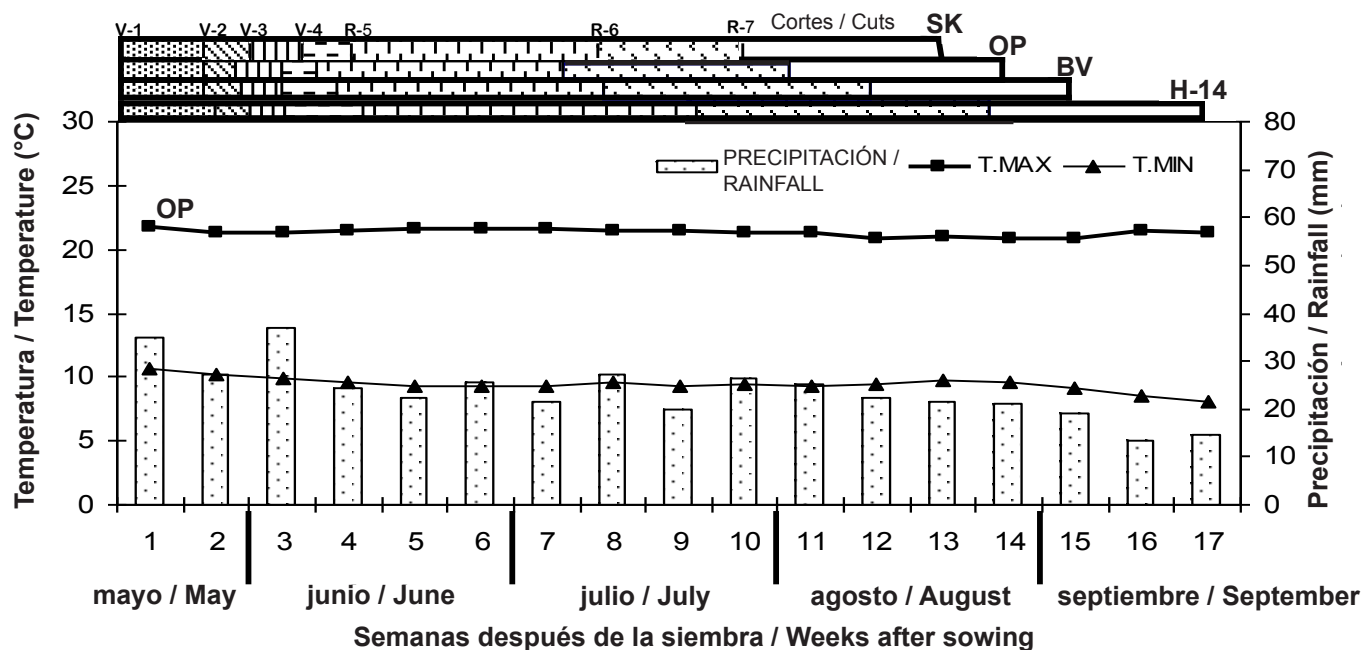


FIGURA 1. Fenología del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.), media semanal de la temperatura máxima, mínima y suma semanal de la precipitación. San Pablo Ixayoc, Méx. Verano 2008. Etapas fenológicas del frijol ejotero: V-1 = Emergencia, V-2 = Hojas primarias, V-3 = Primera hoja trifoliolada, V-4 = Tercera hoja trifoliolada, R-5 = Prefloración, R-6 = Floración, R-7 = Formación de vainas. Cultivares: SK = 'Strike', OP = 'Opus', BV = 'Black Valentine', H-14 = 'Hav-14', Tmáx = temperatura máxima y Tmín = temperatura mínima.

FIGURE 1. Phenology of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.), weekly average maximum temperature, minimum and weekly sum of rainfall. San Pablo Ixayoc, Mex. Summer 2008. Phenological stages of green beans: V-1 = Emergence, V-2 = Primary leaves, V-3 = first trifoliate leaf, V-4 = Third trifoliate leaf, R-5 = Pre-Flowering, R-6 = flowering, R-7 = Pod formation. Cultivars: SK = 'Strike', OP = 'Opus', BV = 'Black Valentine', H-14 = 'Hav-14', Tmax = maximum temperature and Tmin = minimum temperature.

tardío (22 días). Una tendencia similar se observó en la fase reproductiva (R-5 y R-6), con 51 y 69 días, respectivamente.

Sin embargo, los días al primer y séptimo corte 'Strike' presentó 68 y 90, respectivamente; mientras que 'Hav-14' tuvo 96 y 119 días, respectivamente. Estas diferencias en la ocurrencia de las etapas fenológicas relacionadas con el hábito de crecimiento del frijol, también han sido reportadas por Esquivel-Esquivel *et al.* (2006). El mayor ciclo de 'Hav-14' (119 días), se debe a que durante su etapa reproductiva, continúa la producción de hojas, ramas, flores y frutos, lo cual es característico de los cultivares de hábito de crecimiento indeterminado tipo IV (Salinas *et al.*, 2008; Garduño-González *et al.*, 2009; Díaz-López *et al.*, 2010), que les permite mayor tiempo de captura de radiación solar y mayor humedad disponible (precipitación acumulada de 415 mm, 394 mm de precipitación efectiva), en contraste con los cultivares de crecimiento determinado (383 y 364 mm, respectivamente). Las temperaturas máxima y mínima (21.3 y 9.4 °C, respectivamente), no influyeron en la fenología de los cultivares, ya que fueron prácticamente constantes durante el ciclo biológico (Figura 1).

Rendimiento de ejote en función de la acumulación de UC, ETc y PP

El cultivar de hábito indeterminado 'Hav-14' tuvo rendimiento y número de ejotes estadísticamente similar a 'Opus', 'Black Valentine' y superior a 'Strike'. Por otra parte, 'Hav-14' tuvo mayor acumulación de UC, ETc y PP durante su ciclo, en contraste, 'Strike' presentó los valores más bajos (Cuadro 1).

Los cultivares de ciclo largo (119 días) como 'Hav-14', disponen durante mayor tiempo de insumos para su crecimiento y bajo condiciones de riego, sería una ventaja que se podría aprovechar para incrementar el número de cortes y el rendimiento de ejote. Sin embargo, bajo condiciones de lluvia estacional (temporal), se debe tomar en cuenta que la precipitación no presenta un patrón definido en su frecuen-

reproductiva, the production of leaves, branches, flowers and fruits continues, which is characteristic of the cultivars of indeterminate growth habit type IV (Salinas *et al.*, 2008; Garduño-González *et al.*, 2009; Díaz-López *et al.*, 2010), allowing more time to capture solar radiation and more moisture available (cumulative rainfall of 415 mm, 394 mm effective rainfall), in contrast to cultivars of determinate growth (383 and 364 mm, respectively). Maximum and minimum temperatures (21.3 and 9.4 °C, respectively), did not influence the phenology of cultivars, as they were almost constant during the life cycle (Figure 1).

Bean yield in function of the accumulation of UC, ETc and PP

The cultivar of indeterminate habit 'Hav-14' had statistically similar yield and number of green beans compared to 'Opus', 'Black Valentine' and higher compared to 'Strike'. Moreover, 'Hav-14' had greater accumulation of TU, ETc and PP during its cycle, in contrast, 'Strike' had the lowest values (Table 1).

Long cycle cultivars (119 days) as 'Hav-14' have for longer inputs for their growth and under irrigation conditions, it would be an advantage that could be exploited to increase the number of cuts and yield of green beans. However, under conditions of seasonal rainfall (rainfed), we have to consider that rainfall does not have a definite pattern in its frequency and distribution during the year. Thus, the crop may suffer water stress, particularly in the reproductive stage, which could result in the reduction or even total loss of yield. The yield showed a higher relationship with rainfall ($r = 0.83$, $P \leq 0.01$), followed by crop evapotranspiration ($r = 0.71$, $P \leq 0.05$) and finally with thermal units ($r = 0.65$, $P \leq 0.05$).

It is worth mentioning that the yield of 'Hav-14', 'Black Valentine' and 'Opus' surpassed even twice the average yield reported for the region, which is 2.8 t·ha⁻¹ (Anonymous, 2011). These differences in the length of the crop cy-

CUADRO 1. Rendimiento de frijol ejotero (kg·m⁻²), número de ejotes·m⁻², variables e índices ambientales para los cultivares en estudio. San Pablo Ixayoc, Estado de México. Verano 2008.

TABLE 1. Yield of green beans (kg·m⁻²), number of green beans·m⁻², environmental variables and indices for cultivars under study. San Pablo Ixayoc, Estado de México. Summer 2008.

Cultivares / Cultivars	Rendimiento / Yield (kg·m ⁻²)	Núm. ejotes·m ⁻² / Num. green beans·m ⁻²	UC / TU (°C d ⁻¹)	ETc (mm)	PP (mm)
Opus	0.521 ab ²	141.0 ab	577	157	382
Strike	0.196 b	57.0 b	567	151	379
Black Valentine	0.517 ab	112.0 ab	572	161	388
Hav-14	0.574 a	146.0 a	650	178	415
Media / Mean	0.452	113.5	592	162	391
DMSH / HSD	16.280	13.7			

²Valores la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; UC: unidades térmicas; ETc: evapotranspiración del cultivo; PP: precipitación pluvial.

²Values with the same letter within columns are equal (Tukey, $P \leq 0.05$). HSD: Honestly Significant Difference; TU: thermal units; ETc: crop evapotranspiration; PP: rainfall.

cia y distribución durante el año. Así, el cultivo puede sufrir estrés hídrico, particularmente en la etapa reproductiva, lo que podría provocar la reducción o incluso la pérdida total del rendimiento. El rendimiento mostró una relación más alta con la precipitación ($r = 0.83$, $P \leq 0.01$), seguida de la evapotranspiración del cultivo ($r = 0.71$, $P \leq 0.05$) y por último con las unidades térmicas ($r = 0.65$, $P \leq 0.05$).

Cabe señalar que el rendimiento de 'Hav-14', 'Black Valentine' y 'Opus' superó hasta dos veces al rendimiento medio reportado para la región, que es de $2.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Anónimo, 2011). Dichas diferencias en la longitud del ciclo del cultivo, las UC y rendimiento entre genotipos de diferente hábito de crecimiento, se han encontrado también en frijol de grano (Escalante-Estrada y Rodríguez-González, 2010), lo que sugiere que las UC puede ser un estimador apropiado para el tiempo de ocurrencia de las etapas fenológicas y rendimiento del frijol.

Tendencias similares se han observado en la relación rendimiento, PP y ETc (Escalante *et al.*, 2001; Salinas *et al.*, 2008). El rendimiento y número de ejotes promedio de este estudio (0.452 y $113.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, respectivamente), fue inferior al reportado por Esquivel-Esquivel *et al.* (2006) quienes encontraron un rendimiento medio de $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, sin embargo esto se logró adicionando dos riegos de auxilio a la lluvia estacional. Así mismo, en este estudio, la PP más baja durante el ciclo del cultivo (394 mm), limitó la mayor expresión del rendimiento de 'HAV-14', puesto que se ha reportado rendimiento de $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ con 578 mm en la misma localidad y tipo de suelo y en fecha de siembra similar (Díaz-López *et al.*, 2010).

Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento

En el Cuadro 2 se observa que a los 90 DDS solamente el número de nudos y la longitud del tallo pre-

cle, the TU and yield between genotypes of different growth habit, have also been found in dry bean (Escalante-Estrada y Rodríguez-González, 2010), suggesting that TU can be an appropriate estimator for the time of occurrence of phenological stages and yield of beans.

Similar trends have been observed in the relationship yield, PP and ETc (Escalante *et al.*, 2001; Salinas *et al.*, 2008). Yield and average number of green beans in this study (0.452 and $113.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively) was lower than that reported by Esquivel-Esquivel *et al.* (2006), who found an average yield of $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, however this was achieved by adding two auxiliary irrigations to seasonal rainfall. Likewise, in this study, the lowest PP during the crop cycle (394 mm), limited the highest expression of yield of 'HAV-14', since yield of $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ with 578 mm has been reported at the same location and similar soil type and planting date (Díaz-López *et al.*, 2010).

Morphological and physiological components of yield

Table 2 shows that at 90 DAS only the number of nodes and stem length showed statistical differences among cultivars. The cultivar 'Hav-14' had the highest number of nodes and a stem of 181 cm , length similar to that reported by Díaz-López *et al.* (2010), followed by 'Black Valentine', 'Opus' and 'Strike'. This behavior is associated with the growth habit, because 'Hav-14' of indeterminate growth type IV shows vegetative buds on the main stem and branches during the reproductive stage. In contrast, cultivars of determinate growth have a reproductive bud at the apex, which ends the vegetative growth (Escalante and Kohashi, 1993).

Also, 'Hav-14' had LA and LAD statistically similar to 'Black Valentine' and 'Opus', but superior to 'Strike', with the minimum values (Table 2). This indicates that the longer duration of the photosynthetic activity of 'Hav-14',

CUADRO 2. Componentes morfológicos y fisiológicos del rendimiento por planta a los 90 DDS en función del cultivar de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Estado de México. Verano 2008.

TABLE 2. Morphological and physiological components of yield per plant at 90 DAS according to the cultivar of green beans of different growth habit. San Pablo Ixayoc, Estado de México. Summer 2008.

Cultivares / Cultivars	AF / LA (dm^2)	DAF / LAD (días / days)	LT / ST (cm)	NN
Opus	9.40 ab	12.90 ab	28.6 b	5.7 b
Strike	5.30 b	7.70 b	25.6 b	6.7 b
Black Valentine	9.60 a	13.00 ab	39.3 b	6.1 b
Hav-14	10.00 a	13.70 a	181.0 a	14.5 a
Media / Mean	8.60	11.80	69.0	8.2
DMSH / HSD	4.23	5.83	33.3	2.2
CV (%)	22.00	23.00	32.0	31.0

^aValores la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). DDS: días después de la siembra; DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación; AF: área foliar; DAF: duración del área foliar; LT: longitud del tallo; NN: número de nudos.

^aValues with the same letter within columns are equal (Tukey, $P \leq 0.05$). DAS: days after sowing; HSD: Honestly Significant Difference, CV: coefficient of variation; LA leaf area; LAD: leaf area duration, ST: stem length; NN: number of nodes.

sentaron diferencias estadísticas entre cultivares. El cultivar 'Hav-14' mostró el mayor número de nudos y un tallo de 181 cm, longitud similar a la reportada por Díaz-López *et al.* (2010), seguido de 'Black Valentine', 'Opus' y 'Strike'. Este comportamiento se asocia con el hábito de crecimiento, ya que 'Hav-14', crecimiento indeterminado tipo IV, presenta yemas vegetativas en el tallo principal y ramas durante la etapa reproductiva. En contraste, los cultivares de crecimiento determinado poseen una yema reproductiva en el ápice, lo cual cesa su crecimiento vegetativo (Escalante y Kohashi, 1993).

Asimismo, 'Hav-14' presentó AF y DAF estadísticamente similar a 'Black Valentine' y 'Opus', pero superior a 'Strike', que mostró los mínimos valores (Cuadro 2). Esto indica que la mayor duración de la actividad fotosintética de 'Hav-14', 'Black Valentine' y 'Opus', por el incremento la producción de fotosíntatos y traslocarlos a los órganos reproductivos, incrementó el número y peso fresco de los ejotes. Diferencias en el área foliar y su duración entre cultivares de distintos hábitos de crecimiento fueron detectadas para frijol de grano por Escalante y Rodríguez (2008) y Escalante-Estrada y Rodríguez-González (2010).

Calidad nutrimental

El análisis de varianza de los caracteres de la calidad nutrimental mostró diferencias significativas entre cultivares. 'Opus' tuvo los valores más altos ($P \leq 0.05$) de minerales, fósforo, FDA, lignina y FDN, mientras que 'Hav-14' tuvo los más bajos (en el caso de lignina y fósforo junto con 'Black Valentine'). Sin embargo, el porcentaje de CS fue mayor en 'Hav-14' y menor en 'Opus' (Cuadro 3). Esto indica que a medida que se incrementa el contenido de fibras se reduce el de carbohidratos solubles. Una tendencia similar fue encontrada en 'Hav-14' por Salinas *et al.* (2008)

'Black Valentine' and 'Opus', generated a increase of the production of photosynthates and translocate to reproductive organs, and as a result the number and fresh weight of the green beans increased. Differences in leaf area and duration among cultivars of different growth habits were detected for dry bean by Escalante and Rodríguez (2008) and Escalante-Estrada and Rodríguez-González (2010).

Nutritional quality

The analysis of variance of the nutritional quality characters showed significant differences among cultivars. 'Opus' had the highest values ($P \leq 0.05$) of minerals, phosphorus, ADF, lignin and NDF, while 'Hav-14' had the lowest (in the case of lignin and phosphorus along with 'Black Valentine'). However, the percentage of SC was higher in 'Hav-14' and lower in 'Opus' (Table 3). This indicates that when fiber content increases, soluble carbohydrates decrease. A similar trend was found in 'Hav-14' by Salinas *et al.* (2008) at different planting dates. In addition, it is worth noting the nutraceutical importance of dietary fiber, because with a consumption of 25 to 30 g·day⁻¹ the susceptibility to chronic diseases such as blood pressure, diabetes type II, constipation and colon or rectal cancer is reduced (Zezola and Ramos, 2008).

In general, no significant differences were observed between growth habits in the percentage of phosphorus, hemicellulose and ether extract. However, significant differences were observed in minerals, ADF, lignin, NDF and protein. Cultivars of determinate habit had the highest values. Similar results were reported by Esquivel-Esquivel *et al.* (2006). This indicates an inverse relationship between the yield of fresh green beans and nutritional variables due to a dilution phenomenon, as found also between protein content and biomass of sunflower (Escalante *et al.*, 1998).

CUADRO 3. Análisis químico proximal % con base en materia seca de cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México. Verano 2008.

TABLE 3. Proximate chemical analysis % based on dry matter of green beans cultivars of different growth habit. San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México. Summer 2008.

Cultivar	Nutrimentos / Nutrients									
	Minerales / Minerals	Calcio / Calcium	Fósforo / Phosphorus	CS / SC	FDA / ADF	Lignina / Lignin	FDN / NDF	Hemicel / Hemicel	Proteína / Protein	EE
Opus	8.30 a ^z	1.50 a	0.90 a	41.80 c	23.20 a	0.130 a	28.60 a	5.3 a	19.50 a	1.80 a
Strike	7.30 b	1.20 b	0.60 b	44.30 b	21.70 b	0.120 b	26.60 ab	4.8 a	20.10 a	1.68 a
Black Valentine	7.40 b	1.60 a	0.60 b	45.60 b	19.20 c	0.090 d	26.50 ab	7.3 a	18.90 b	1.51 b
Hav-14	6.20 c	1.50 a	0.70 b	49.70 a	17.40 d	0.100 c	24.40 b	7.0 a	17.90 c	1.70 a
Media / Mean	7.30	1.40	0.70	45.40	20.40	0.110	26.50	6.1	19.10	1.70
DMSH / HSD	0.56	0.12	0.01	2.42	1.37	0.005	2.26	2.8	0.57	0.13
CV (%)	12.00	17.00	20.00	7.00	13.00	23.00	6.00	21.0	5.00	7.00

^aValores la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación; CS: carbohidratos solubles; FDA: fibra detergente ácido; FDN: fibra detergente neutro; EE: extracto etéreo; Hemicel: hemicelulosa.

^aValues with the same letter within columns are equal (Tukey, $P \leq 0.05$). HSD: Honestly Significant Difference; Cv: coefficient of variation; SC: soluble carbohydrates; FDA: acid detergent fiber; FDN: neutral detergent fiber; EE: ether extract; Hemicel: hemicellulose.

CUADRO 4. Rendimiento, ingreso bruto, costo fijo, variable y totales, e ingreso neto para cultivares de frijol ejotero de diferente hábito de crecimiento. San Pablo Ixayoc, Estado de México. Verano 2008.

TABLE 4. Yield, gross income, fixed cost, variable and total, and net income for green bean cultivars of different growth habit. San Pablo Ixayoc, Estado de México. Summer 2008.

Cultivar	Rendimiento / Yield (kg·ha ⁻¹)	Ingreso bruto / Gross income (\$·ha ⁻¹)	Costos / Costs (\$·ha ⁻¹)			IN/NI (\$·ha ⁻¹)
			Fijos / Fixed	Variables	Totales/Totals	
'Opus'	5,200 ab ^z	31,200.00	7,000.00	14,144.00	21,144.00	10,056.00
'Strike'	1,950 b	11,700.00	7,000.00	14,144.00	21,144.00	-9,444.00
'Black Valentine'	5,160 ab	30,960.00	7,000.00	14,144.00	21,144.00	9,816.00
Hav-14	5,730 a	34,380.00	7,000.00	51,320.00	58,320.00	-23,940.00

^zValores la misma letra dentro de columnas son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). IN: ingreso neto.

^zValues with the same letter within columns are equal (Tukey, $P \leq 0.05$). NI: net income.

en diferentes fechas de siembra. Además, cabe resaltar la importancia nutraceútica de las fibras alimentarias, ya que con un consumo de 25 a 30 g·día⁻¹ se reduce la predisposición a enfermedades crónicas como hipertensión arterial, diabetes tipo II, estreñimiento y cáncer colon rectal (Zezola y Ramos, 2008).

En general, no se observaron diferencias significativas entre hábitos de crecimiento en el porcentaje de fósforo, hemicelulosa y extracto etéreo. Sin embargo, las hubo en minerales, FDA, lignina, FDN y proteína. Los cultivares de hábito determinado tuvieron los valores más altos. Resultados semejantes fueron reportados por Esquivel-Esquivel *et al.* (2006). Esto indica una relación inversa entre el rendimiento de ejote fresco y las variables nutrimentales debido a un fenómeno de dilución, como también fue encontrado entre el contenido de proteína y la biomasa del girasol (Escalante *et al.*, 1998).

Análisis económico

Se observaron diferencias entre cultivares de frijol ejotero para rentabilidad (Cuadro 4). El cultivar 'Opus' presentó el ingreso económico más alto, con \$ 10,056.00, seguido de 'Black Valentine' con \$ 9,856.00. 'Strike' y 'Hav-14' presentaron pérdidas de \$ 9,444.00 y \$ 24,940.00, respectivamente. En el caso del cultivar 'Strike', las pérdidas fueron debidas al bajo rendimiento en ejote (1,954 kg·ha⁻¹) y en 'Hav-14' se debieron al incremento de los costos variables (polines y malla tutora).

Sí las ganancias mencionadas se calculan en un periodo de cinco años (que es la vida útil de la espaldera), considerando los mismos cultivares, costos fijos y variables, rendimiento y precio por kilogramo de ejote, se observaría la siguiente tendencia: la ganancia más alta con 'Hav-14', seguida de 'Opus' y 'Black Valentine' (\$ 85,480.00, \$ 50,276.00 y \$ 49,076.00, respectivamente). El cultivar 'Strike' causa pérdidas económicas en dicha proyección (\$ -42,224.00). Garduño-González *et al.* (2009) reportan una respuesta similar en cuanto a

Economic Analysis

Differences among green beans cultivars were observed for profitability (Table 4). The cultivar 'Opus' had the highest income, with \$ 10,056.00, followed by 'Black Valentine' with \$ 9,856.00. 'Strike' and 'Hav-14' had losses of \$ 9,444.00 and \$ 24,940.00, respectively. In the case of the cultivar 'Strike', losses were due to low green bean yield (1,954 kg·ha⁻¹) and in the case of 'Hav-14', losses were due to higher variable costs (poles and staking net).

If earnings mentioned are calculated over a period of five years (lifetime of the trellis), considering the same cultivars, fixed and variable costs, yield and price per kilogram of green beans, we would observe the following trend: the highest gain with 'Hav-14', followed by 'Opus' and 'Black Valentine' (\$ 85,480.00, \$ 50,276.00 and \$ 49,076.00, respectively). The cultivar 'Strike' cause economic losses in this projection (\$ -42,224.00). Garduño-González *et al.* (2009) reported a similar response regarding the profitability of green beans of indeterminate climber, conventional trellis.

The above results suggest that green beans, besides being a nutritional product, are an alternative for higher income of the farmer. It is expected that in regions with similar environmental conditions to those of this study, we observe a similar response in yield, nutritional quality and income, to increase the quality of life of the farmer.

CONCLUSIONS

In San Pablo Ixayoc, of temperate climate and seasonal rainfall conditions, the cultivars 'Hav-14', 'Opus', 'Black Valentine' and 'Strike' show changes in phenology, yield and nutritional quality.

The highest yield was achieved with the cultivar 'Hav-14' 'Opus' and 'Black Valentine' and the lowest in 'Strike'.

The nutritional quality was higher in 'Opus', followed by 'Black Valentine', 'Strike' and 'Hav-14'.

la rentabilidad del frijol de hábito indeterminado trepador, en espaldera convencional.

Los anteriores resultados sugieren que el frijol ejotero, además de ser un producto nutrimental, es una alternativa para mayores ingresos del agricultor. Es de esperarse que en regiones con condiciones ambientales semejantes a las de este estudio se observe una respuesta similar en rendimiento, calidad nutrimental e ingresos, que incrementen la calidad de vida del productor.

CONCLUSIONES

En San Pablo Ixayoc, de clima templado y bajo condiciones de lluvia estacional, los cultivares 'Hav-14', 'Opus', 'Black Valentine' y 'Strike' presentan cambios en la fenología, el rendimiento y la calidad nutrimental.

El rendimiento más alto se logró con el cultivar 'Hav-14' 'Opus' y 'Black Valentine', y el más bajo, en 'Strike'.

La calidad nutrimental fue más alta en 'Opus', seguido de 'Black Valentine', 'Strike' y 'Hav-14'.

Los cambios en el crecimiento y rendimiento se relacionan de forma positiva con la precipitación pluvial, evapotranspiración del cultivo y unidades térmicas acumuladas durante el ciclo del cultivo.

El mayor ingreso neto se obtuvo con 'Opus' y 'Black Valentine'.

LITERATURA CITADA

- ABDEL-MAWGOUD, A. M. R.; EL-DESKI, M.; SALMAN, S. R.; ABOUT-HUSSEIN, S. D. 2005. Performance of some snap bean varieties as affected by different levels of mineral fertilizers. *Journal of Agronomy* 4(3): 242-247. doi: 10.3923/ja.2005.242.247
- ADSULE, R. N.; DESHPANDE, S. S.; SATHE, S. K. 2004. Tratado de Ciencia y Tecnología de las Hortalizas. Editorial Acribia, S.A. D. F., México. 739 p.
- ANÓNIMO. 2002. Statistical Analysis System Institute. SAS Proceeding Guide, Versión 9.0. SAS Institute. Cary, NC. USA.
- ANÓNIMO. 2011. Producción agrícola. México. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. Consultado en www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1042&tipo=1. Fecha de consulta 10 Septiembre 2012.
- BARRIOS-GÓMEZ, E. J.; LÓPEZ-CASTAÑEDA, C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43(1): 29-35. <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2009/ene-feb/art-4.pdf>
- DÍAZ-LÓPEZ, E.; ESCALANTE-ESTRADA, J. A. S.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, M. T.; GAYTÁN-ACUÑA, A. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista*

Changes in growth and yield are positively related to rain-fall, crop evapotranspiration and thermal units accumulated during the crop cycle.

The higher net income was obtained with 'Opus' and 'Black Valentine'.

End of English Version

Chapingo Serie Horticultura 16(3): 215-221. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf/?id=MTQzMA==>

- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. 1986. Las Necesidades del Agua para los Cultivos. Riego y drenaje Vol. 24. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 194 p.
- ESCALANTE E., J. A.; KOHASHI, J. S. 1993. El Rendimiento y Crecimiento del Frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.
- ESCALANTE E., J. A.; ESCALANTE E., L. E.; RODRÍGUEZ G., M. T. 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. www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art309_315.pdf
- ESCALANTE E., J. A.; RODRÍGUEZ, M. T.; DE HARO, A.; FERERES, C. E. 1998. Acquisition, partitioning and remobilization of nitrogen and their relationship to seed yield in mediterranean sunflower. *HELIA* 21(29): 81-94.
- ESCALANTE E., J. A.; RODRÍGUEZ G., M. T. 2008. Phenology, growth analysis and yield of beans in alkaline soils. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 51: 238-239. http://bic.css.msu.edu/_pdf/Reports/BIC_2008_volume_51.pdf
- ESCALANTE-ESTRADA, J. A.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, M. T. 2010. Growth analysis, phenology, heat units and growth habit in beans (*P.vulgaris* L.). *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative* 53: 248-249. http://bic.css.msu.edu/_pdf/Reports/BIC_2010_Annual_Report.pdf
- ESQUIVEL-ESQUIVEL, G.; ACOSTA-GALLEGOS, J. A.; ROSALES-SERNA, R.; PÉREZ-HERRERA, P.; HERNÁNDEZ-CASILLAS, J. M.; NAVARRETE-MAYA, R.; MURUAGA-MARTÍNEZ, J. S. 2006. Productividad y adaptación de frijol ejotero en el valle de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12(1): 109-116. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf/?id=MTA2MA==>
- GARCÍA, E. L. 2005. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F, México. 217 p.
- GARDUÑO-GONZÁLEZ, J.; MORALES-ROSALES, E. J.; GUADARRAMA-VALENTÍN, S.; ESCALANTE-ESTRADA,

- J. A. 2009. Biomasa y rendimiento de frijol con potencial ejotero en unicultivo y asociado con girasol. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(1): 33-39. <http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf/?id=NDYz>
- KAPLAN, L. 1965. Archeology and domestication of *Phaseolus* (beans) in American. *Economic Botany* 19(4): 358-368. doi: 10.1007/BF02904806
- OMAE, H.; KUMAR, A.; KASHIWABA, K.; SHONO, M. 2007. Assessing drought tolerance of snap bean (*Phaseolus vulgaris*) from genotypic differences in leaf water relations, shoot growth and photosynthetic parameters. *Plant Production Science* 10(1): 28-35. doi: 10.1626/pps.10.28
- PEIXOTO, N.; MORALES, E. A.; MONTEIRO, J. D.; THUNG, M. D. T. 2001. Seleção de linhagens de feijão-vagem de crescimento indeterminado para cultivo no Estado de Goiás. *Horticultura Brasileira* 19(1): 85-88. http://www.horticultura-brasileira.com.br/images/stories/19_1/200119117.pdf
- QUINTERO, I.; ÁLVAREZ, R.; VILORIA, O.; ZAMBRANO, J.; MATERANO, W.; MAFFEI, M.; VALERA, A. 2005. Evaluation of the agronomic potential and quality attributes in three varieties of green beans (*P. vulgaris* L.). *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 49(19): 65-67. <http://www.pubhort.org/iassth/49/0019.htm>
- ROY, G.; LAFLAME, L.; TREMBLAY, N. 2000. Évolution des calibres et des rendements de cultivars de haricot destinés à la transformation. *Canadian Journal of Plant Science* 80(4): 869-873. doi: 10.4141/P99-137
- SALINAS R., N.; ESCALANTE E., J. A.; RODRÍGUEZ G., M. T.; SOSA M., E. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L) en fechas de siembra. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(3): 235-241. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/31-3/6r.pdf>
- SNYDER, R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology* 35(1): 353-358. doi: 10.1016/0168-1923(85)90095-4
- SOSA DE P., E. 1979. Manual de Procedimientos Analíticos Para Alimentos de Consumo Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 115 p.
- TSUKAGUCHI, T.; FUKAMACHI, H.; OZAWA, K.; TAKEDA, H.; SUZUKI, K.; EGAWA, Y. 2005. Diurnal change in water balance of heat-tolerant snap bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivar and its association with growth under high temperature. *Plant Production Science* 8(4): 375-382. doi: 10.1626/pps.8.375
- VOLKE, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 61 p.
- ZEZOLA B., T.; RAMOS C., A. 2008. Nutraceúticos. *Revista de la Organización de Farmacéuticos Ibero-Latinoamericanos* 18(3): 37-42. <http://www.revistadelaoafil.org/Articulo.asp?Id=122>