

# RENDIMIENTO Y EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA DE CULTIVARES DE HABA (*Vicia faba* L.) PARA DOBLE PROPÓSITO

Juan Carlos Pichardo-Riego<sup>1</sup>; José Alberto Salvador Escalante-Estrada<sup>1\*</sup>;  
Ramón Díaz-Ruiz<sup>2</sup>; Abel Quevedo-Nolasco<sup>1</sup>;  
Víctor Volke-Haller<sup>1</sup>; Edgar Jesús Morales-Rosales<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México.  
C. P. 56230. Correo-e: jasee@colpos.mx (\*Autor de correspondencia)

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. km 125.5 Carretera Federal México-Puebla.  
C. P. 72760. Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla. MÉXICO.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.  
Independencia Poniente s/n. El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. C. P. 50200.

## RESUMEN

Actualmente, en México el rendimiento de grano en haba (*Vicia faba* L.) es bajo ( $0.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Una de las causas es la utilización de cultivares nativos y, como es un cultivo de temporal, la producción se limita aún más por la cantidad y distribución de la lluvia. Así, es primordial la identificación de cultivares que presenten mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) y en consecuencia una producción más alta. El objetivo del estudio fue evaluar la EUA y el rendimiento de vaina verde y grano seco de 14 cultivares de haba (13 introducidos y uno criollo). La siembra se realizó el 30 de marzo del 2006 a una densidad de  $4.2 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ , en Ciudad Serdán, Puebla, bajo condiciones de lluvia estacional. La fertilización fue 132-30-00 NPK. Todo el P y 50 % de N se aplicó antes de la siembra, y el resto, 60 días después. Los cultivares más precoces fueron 'Tarragona 1' y 'Cochinera Montecillo' con 190 días después de la siembra (dds), cada uno con una acumulación de  $3,023 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}$  ( $^{\circ}\text{Cd}$ ), y el más tardío, 'Cochinera Morada', con 225 dds y  $3,450 \text{ }^{\circ}\text{Cd}$ . El mayor tamaño de vaina verde se encontró en 'Pico de Orizaba' con 8.8 cm de longitud y 23.4 mm de ancho, y el mayor número de vainas  $\cdot \text{m}^{-2}$  (113.1), en 'Cochinera Morada'. El rendimiento de legumbre más alto correspondió a 'Cochinera Morada' ( $1,037.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) y el más bajo a 'Cochinera Montecillo' ( $456.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ). En grano seco, el rendimiento más alto se encontró en 'Blanca' ( $357 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ). En ambos casos el rendimiento se relacionó con la EUA e índice de cosecha. El cultivar local criollo mostró un rendimiento inferior a algunos cultivares introducidos. En general, los cultivares tardíos presentaron mayor biomasa, rendimiento y calor acumulado.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** Grados día desarrollo, tamaño de vaina, biomasa, índice de cosecha, número de vainas.

## WATER USE EFFICIENCY AND YIELD FOR DUAL PURPOSE IN FABA BEAN (*Vicia faba* L.) CULTIVARS

## ABSTRACT

Nowadays in Mexico, the yield of faba bean (*Vicia faba* L.) seed is low ( $0.7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). One reason is the use of landraces, and since it is a seasonal crop, production is further limited by the amount and distribution of rainfall. Thus, it is important to look for cultivars with greater water use efficiency (WUE) and therefore higher production. The aim of the present study was to evaluate WUE and yield of green pod and dry grain of 14 cultivars of faba bean (13 introduced and one native). Seed sowing occurred on March 30, 2006 at a density of  $4.2 \text{ plants} \cdot \text{m}^{-2}$  in Serdán, Puebla under seasonal rainfall conditions. The fertilizer was 132-33-00 of NPK. All P and 50 % of nitrogen was applied before sowing and the rest 60 days later. The cultivars of early physiological maturity (PM) were 'Tarragona 1' and 'Cochinera Montecillo' (190 days after sowing (das) and 3,023 growth degree days) and the later was 'Cochinera Morada' (225 das and 3,450 growth degree days). The greatest pod size was found in 'Pico de Orizaba' with 8.8 cm length and 23.4 mm width. 'Cochinera Morada' had the highest yield ( $1,037 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) and number of pod per  $\text{m}^2$  (113.1). The lowest yield was shown in 'Cochinera Montecillo' ( $456.1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ). The highest grain yield was found in 'Blanca' ( $357 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ). In both cases yield was related to water use efficiency and harvest index. The native cultivar showed lower yield than some introduced cultivars. In general, the late cultivars showed higher biomass, yield and accumulated heat.

**ADDITIONAL KEYWORDS:** Growth degree days, pod size, biomass, harvest index, pods number.

## INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad, las leguminosas han sido importantes para el hombre, debido principalmente a su alto contenido de proteínas y, en algunos casos, por la adecuada proporción de grasas que posee la semilla de muchas especies. Las especies de leguminosas más importantes a nivel mundial son frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), chícharo seco (*Pisum sativum* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y haba (*Vicia faba* L.) (Nadal *et al.*, 2001). El cultivo del haba en muchas regiones del mundo ha tenido un creciente interés por el aprovechamiento de sus granos y también por su uso en la medicina, industria, como abono verde, forraje, para la obtención de bioetanol y biogás (Nadal *et al.*, 2001; Petersson *et al.*, 2007; Siem *et al.*, 2012), así como bioindicadora de agua contaminada con mercurio (Álvarez *et al.*, 2006).

En México, el cultivo de haba dentro de las leguminosas grano ocupa el tercer lugar en producción y es de importancia social, económica y medicinal, principalmente para los agricultores de los valles altos (Díaz y Escalante, 2009). En el año 2011 se destinaron 11,500 ha para el cultivo de haba verde y 19,800 ha para grano seco, con un rendimiento promedio de 5.5 y 0.7 t·ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Anónimo, 2012). Estos bajos rendimientos se deben a que la mayoría de los productores comúnmente siembran cultivares nativos o tradicionales, que son susceptibles a agentes bióticos, de ciclo vegetativo largo, sensibles al acame y por las características de tamaño y color de grano sólo tienen aceptación local (Morales *et al.*, 2002). Además, en los sistemas de producción tradicionales se utiliza el mismo cultivar tanto para la producción de vaina verde como de grano seco. La primera decisión que el productor debe tomar es la elección de la variedad apropiada, la cual debe tener un alto potencial de rendimiento (Bascur, 1997), ciclo más corto, adaptabilidad a diversos suelos y condiciones de manejo (Anónimo, 2000). Una estrategia para mejorar la productividad y la rentabilidad del cultivo es evaluar diferentes variedades e identificar aquellas que superen a los cultivares nativos o tradicionales (Pichardo *et al.*, 2007).

Al introducir variedades mejoradas, el rendimiento de grano puede incrementarse hasta 30 %, debido a un mayor número de nudos reproductivos, índice de cosecha y área foliar más alta (Pilbeam *et al.*, 1990). De Costa *et al.* (1997) señalan que el mayor rendimiento de grano mostrado por los cultivares introducidos en comparación con los tradicionales se debió a una mayor duración del área foliar, número de vainas y peso de grano (Musallam *et al.*, 2004). Además, las variedades introducidas también superan en rendimiento de grano seco a los cultivares locales, por un mayor número de granos por vaina (Alan y Geren, 2007; Escalante y Rodríguez, 2011). Bozoglu *et al.* (2002), al estudiar solamente cultivares para vaina verde, encontraron que el cultivar 'Eresen-87' (introducido) mostró un rendimiento superior al cultivar local, debido a la mayor

## INTRODUCTION

Since ancient times, legumes have been important to humans, mainly due to their high content of proteins, and in some cases, due to the right fat proportion contained by the seed of many species. The most important legume species worldwide are bean (*Phaseolus vulgaris* L.), dry pea (*Pisum sativum* L.), chickpea (*Cicer arietinum* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) (Nadal *et al.*, 2001). In many regions of the world, faba bean has had a growing interest in the use of their grains, and also its use in medicine, industry, as green manure, fodder, to obtain bioethanol and biogas (Nadal *et al.*, 2001; Petersson *et al.*, 2007; Siem *et al.*, 2012), as well as bioindicator of water contaminated with mercury (Álvarez *et al.*, 2006).

In Mexico, faba bean in grain legumes, ranks third in production and has social, economic and medicinal importance, especially for farmers in the upper valleys (Díaz and Escalante, 2009). In 2011, 11,500 ha were aimed for green faba bean and 19,800 ha for dry grain, with an average yield of 5.5 and 0.7 t·ha<sup>-1</sup>, respectively (Anonymous, 2012). These low yields occur because most of the farmers commonly planted native or traditional cultivars, which are susceptible to biotic agents, long vegetative cycle, susceptible to lodging. Due to grain size and color characteristics, it only has local acceptability (Morales *et al.*, 2002). Moreover, traditional production systems use the same cultivar for green pod and dry grain production. The first decision the farmer has to make is choosing the right variety, which should have a high yield potential (Bascur, 1997), shorter cycle, adaptability to various soils and management conditions (Anonymous, 2000). A strategy to improve productivity and profitability of the crop is to evaluate different varieties and identify those that exceed landraces (Pichardo *et al.*, 2007).

By introducing improved varieties, grain yield can be increased to 30 %, due to a greater number of reproductive knots, harvest index and higher leaf area (Pilbeam *et al.*, 1990). De Costa *et al.* (1997) indicate that the highest grain yield shown by introduced cultivars compared to traditional cultivars was due to greater leaf area duration, number of pods and grain weight (Musallam *et al.*, 2004). Moreover, the introduced varieties also exceed in yield compared to the local cultivar of dry grain, with a greater number of grains per pod (Alan and Geren, 2007; Escalante and Rodríguez, 2011). Bozoglu *et al.* (2002), by studying only cultivars for green pod, found that the cultivar 'Eresen-87' (introduced) showed a greater yield compared to the local cultivar, due to greater length, diameter and width of the pod and number of pods per plant. Furthermore, under seasonal rainfall conditions, yield depends on water use efficiency (WUE), therefore to increase the yield; genotypes with high WUE have to be found, in other words, greater yield per unit of water available (Pichardo *et al.*, 2007). The aim of the present study was to study the phenology and assess

longitud, diámetro y anchura de la vaina y número de vainas por planta. Por otra parte, bajo condiciones de temporal, el rendimiento depende de la eficiencia en el uso del agua (EUA), por lo que, para lograr un incremento en el rendimiento, se deben buscar genotipos con alta EUA. Es decir, que tengan mayor rendimiento por unidad de agua disponible (Pichardo *et al.*, 2007). El objetivo de la investigación fue estudiar la fenología y evaluar la biomasa, rendimiento en verde y grano y la eficiencia en el uso del agua de doce cultivares de haba introducidos y uno local nativo, bajo condiciones de lluvia estacional en el área de Ciudad Serdán, Puebla.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante la primavera del 2006 en el área de Ciudad Serdán, Puebla (18° 59' N, 97° 26' O y 2,611 m de altitud) bajo condiciones de lluvia estacional. El clima de la región es de tipo C(w<sub>2</sub>)(w), que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos (García, 2004).

Se utilizaron los cultivares de haba denominados 'Tarragona Amarilla 1', 'Tarragona Amarilla 2', 'Tarragona Amarilla 3', 'Parraleña', 'Blanca', 'Cochinera Morada', 'Pico de Orizaba' (cultivar local nativo), 'Cochinera Montecillo', 'San Pedro', 'San Isidro', 'Monarca', 'Diamante', 'V-31' y 'V-35'. Los primeros siete provinieron del banco de germoplasma del Colegio de Postgraduados Campus Puebla y los restantes del área de Ecofisiología de Cultivos del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo.

La siembra se realizó el 30 de marzo, con una densidad de 4.2 plantas·m<sup>-2</sup> (80 × 30 cm). Se fertilizó con 132-33-00 kg·ha<sup>-1</sup> de NPK: se aplicó la mitad del nitrógeno y todo el fósforo al momento de la siembra y el resto 60 días después. Las fuentes de nitrógeno y fósforo fueron urea (46 % de N) y superfosfato de calcio triple (46 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), respectivamente.

Se usó un diseño experimental bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 4.0 × 3.0 m (cinco surcos de 3 m de longitud). La parcela útil fue tres surcos centrales (un tercio de la parcela útil se destinó para cosecha en verde y dos tercios para grano seco).

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura máxima y mínima promedio de cada 10 días y la precipitación decenal, así como la ocurrencia de fases y etapas fenológicas, de acuerdo con el criterio presentado por Pichardo *et al.* (2007). Para determinar el rendimiento de vaina verde (RVV) se realizaron tres cortes (en función del desarrollo de los cultivares). Se contó el número de vainas verdes por m<sup>2</sup> (NVV), y de éstas se promedió la longitud (L, cm), anchura (A, mm) y peso de la vaina (PV, g). A la madurez fisiológica (cosecha) se evaluó la materia seca o biomasa total (BT, g), rendimiento de grano seco (RG, peso

biomass, yield in green pod and grain and water use efficiency of twelve introduced cultivars of faba bean and one local cultivar, under seasonal rainfall conditions in the area of Serdán, Puebla.

This study was conducted during the spring of 2006 in the area of Serdán, Puebla (18° 59' N, 97° 26' W and 2,611 m altitude) under seasonal rainfall conditions. The weather of this region is C(w<sub>2</sub>)(w), which corresponds to temperate subhumid with summer rains, the wettest of the subhumid climates (García, 2004).

The following faba bean cultivars were used in this study: 'Tarragona Amarilla 1', 'Tarragona Amarilla 2', 'Tarragona Amarilla 3', 'Parraleña', 'Blanca', 'Cochinera Morada', 'Pico de Orizaba' (local cultivar), 'Cochinera Montecillo', 'San Pedro', 'San Isidro', 'Monarca', 'Diamante', 'V-31' and 'V-35'. The first seven cultivars mentioned above come from the germoplasm bank of the Colegio de Postgraduados Campus Puebla and the rest of the cultivars from the Department of Crop Ecophysiology of Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo.

Sowing was carried out on March 30, with a density of 4.2 plants·m<sup>-2</sup> (80 × 30 cm). The fertilizer was 132-33-00 of NPK: half the nitrogen and all phosphorus were used at the time of sowing and the rest 60 days after. Sources of nitrogen and phosphorus were urea (46 % of N) and triple calcium superphosphate (46 % of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), respectively.

The experimental design was randomized block with four replications. The experimental unit was 4.0 × 3.0 m (five rows of 3 m length). The useful plot was three central rows (one third of the useful plot was allocated for green pod and two thirds for dry grain).

Every 10 days, the average maximum and minimum temperature and the sum of the amount of rainfall, as well as, the occurrence of phases and phenological stages were recorded during the development of the crop, according to the criteria showed by Pichardo *et al.* (2007). Three cuts were carried out (depending on the development of cultivars) to determine green pod yield (GPY). The number of green pods per m<sup>2</sup> (NGP) was counted and length (L, cm), width (W, mm) and pod weight (PW, g) were averaged. Dry matter or total biomass (TB, g), dry grain yield (GY, grain weight in g, with 10 % humidity), harvest index (HI), GY and TB\*100 ratio, grain size (based on the weight in grams, of 50 grains (WFG), number of grains·m<sup>-2</sup> (NG) and number of pods·m<sup>-2</sup> (NP) were assessed at the physiological maturity (harvest). Water use efficiency (WUE) was calculated by dividing TB (BWUE) or GY (GWUE) per unit of the area between the total rainfall that occurred during the lifetime of each cultivar (Escalante, 2001).

An analysis of variance was used for the response variables, and the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ) was performed to

del grano en g, con 10 % de humedad), índice de cosecha (IC, relación entre el RG y la BT\*100), tamaño del grano (con base en el peso en g, de 50 granos, PCG), número de granos·m<sup>-2</sup> (NG) y número de vainas·m<sup>-2</sup> (NV). La eficiencia en el uso del agua (EUA) se obtuvo al dividir la BT (EUAB) o el RG (EUAG) por unidad de área entre la precipitación total que ocurrió durante el ciclo de cada cultivar (Escalante, 2001).

A las variables respuesta se les aplicó un análisis de varianza, y a aquellas que resultaron significativas se les realizó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Para determinar la relación entre el RVV con la L, A y PV, se aplicó el modelo de regresión. De manera similar para RG y sus componentes y la BT. El coeficiente de determinación más alto, fue el criterio para seleccionar la mejor ecuación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Elementos del clima

Durante el desarrollo del experimento (marzo-noviembre), la precipitación total (pp) fue de 490.5 mm. De ésta, 54 % ocurrió en la etapa reproductiva (10 de julio - 10 de noviembre). El mes más seco fue abril, lo que pudo limitar el crecimiento del área foliar y, en consecuencia, la producción de materia seca y el rendimiento. Los meses de mayor precipitación fueron junio y septiembre. La temperatura máxima (Tmax) más alta se registró en la última decena de marzo (31.7 °C) y disminuyó conforme se llegó a madurez fisiológica de los cultivares evaluados. La temperatura

those variables that were significant. The regression model was used to determine the relationship between GPY and L, W and PW; in a similar manner for GY and its components and TB. The highest coefficient of determination was the criterion to select the best equation.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Climatic elements

During the course of the experiment (March-November), the total precipitation (pp) was 490.5 mm. A total of 54 % occurred in the reproductive stage (July 10 – November 10). The driest month was April, which could limit the growth of the leaf area and hence the production of dry matter and yield. The months with highest rainfall were June and September. The highest maximum temperature (Tmax) was recorded in the last ten days of March (31.7 °C), the temperature decreased when the physiological maturity stage of the cultivars was reached. The lowest maximum temperature occurred in the early days of November (16.7 °C). The average maximum temperature (Tmax) was 22.8 °C, and the average minimum temperature (Tmin) was 8.2 °C (Figure 1) during the growing cycle.

### Phenology

Figure 2 shows the days after sowing (das) at phenological stages: emergence (VE), plant with 5 and 10 leaves (V5 and V10), beginning of flowering (R4), beginning of fructification (R6) and physiological maturity (R11) for each cultivar. The vegetative and reproductive stages can be

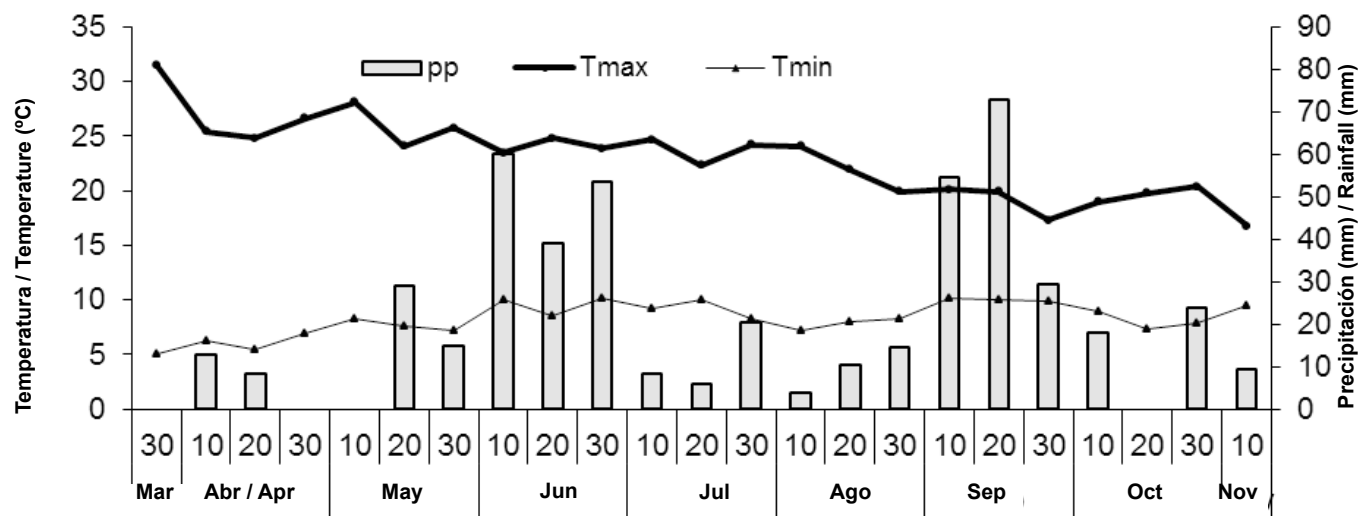


FIGURA 1. Comportamiento de la temperatura máxima y mínima (media decenal), y precipitación (suma decenal) registradas durante el periodo marzo–noviembre de 2006 en Ciudad Serdán, Puebla. Primavera 2006.

FIGURE 1. Behavior of the maximum and minimum temperature (ten days average), rainfall (sum of ten days) recorded during the period from March to November 2006 in Serdán, Puebla. Spring 2006.

máxima más baja ocurrió en los primeros días de noviembre (16.7 °C). Durante el ciclo del cultivo, la temperatura máxima (Tmax) promedio fue de 22.8 °C, y el promedio de la temperatura mínima (Tmín), de 8.2 °C (Figura 1).

## Fenología

En la Figura 2 se presentan los días después de la siembra (dds) a ocurrencia de los estadios fenológicos emergencia (VE), planta con 5 y 10 hojas (V5 y V10), inicio de la floración (R4), inicio de la fructificación (R6) y madurez fisiológica (R11) para cada cultivar. Pueden observarse las etapas vegetativa y reproductiva. En la primera aparecen y se expanden hojas y en la segunda aparecen y crecen las flores, frutos y semillas. En los cultivares de hábito indeterminado, durante gran parte de la etapa reproductiva prosigue la aparición de hojas (Kantolic *et al.*, 2003). La emergencia de la plántula ocurrió entre los 13 a los 16 dds; 'Tarragona 2' y 'San Isidro' fueron los cultivares con mayor retraso a la emergencia (Figura 2). Si bien no se debe descartar la variable genética de los distintos cultivares, el mayor tiempo a la emergencia en "Tarragona 2" puede deberse a que, por su mayor tamaño, requirió mayor cantidad de agua para su germinación. Generalmente cuando la semilla absorbe una cantidad de agua equivalente al 50 % de

observed. At the first stage, we can see the apparition of leaves and how they expand, at the second stage we can see how flowers, fruits and seeds appear and grow. The appearance of leaves continues in cultivars of indeterminate habit, during most of the reproductive stage (Kantolic *et al.*, 2003). The emergence of the seedling occurred between 13 to 16 das, 'Tarragona 2' and 'San Isidro' were the cultivars with greater delay in emergence (Figure 2). Although, the genetic variable of the different cultivars should not be discounted, longest time to emergence in "Tarragona 2" may be due to its larger size, it required greater amount of water for germination. Usually, when the seed absorbs an amount of water equivalent to 50 % of its weight and their thermal requirements are met, the process that causes germination will trigger (Satorre *et al.*, 2003). With respect to the "San Isidro" cultivar, the factors may delay the emergence were seed vigor, a harder seed coat, greater content of tannins and lower protein content (Kantar *et al.*, 1996).

In most of the cultivars, phase V-5 showed an average at 38 das, with the exception of "San Isidro", which showed an average up to 66 das, possibly because the longer time to emergence (Figure 2). With respect to flowering (R4), 'V-31', 'V-35' and 'San Pedro' were the earlier cultivars with 86 das. Phase R4 occurred at 100, 101 and 102 das for

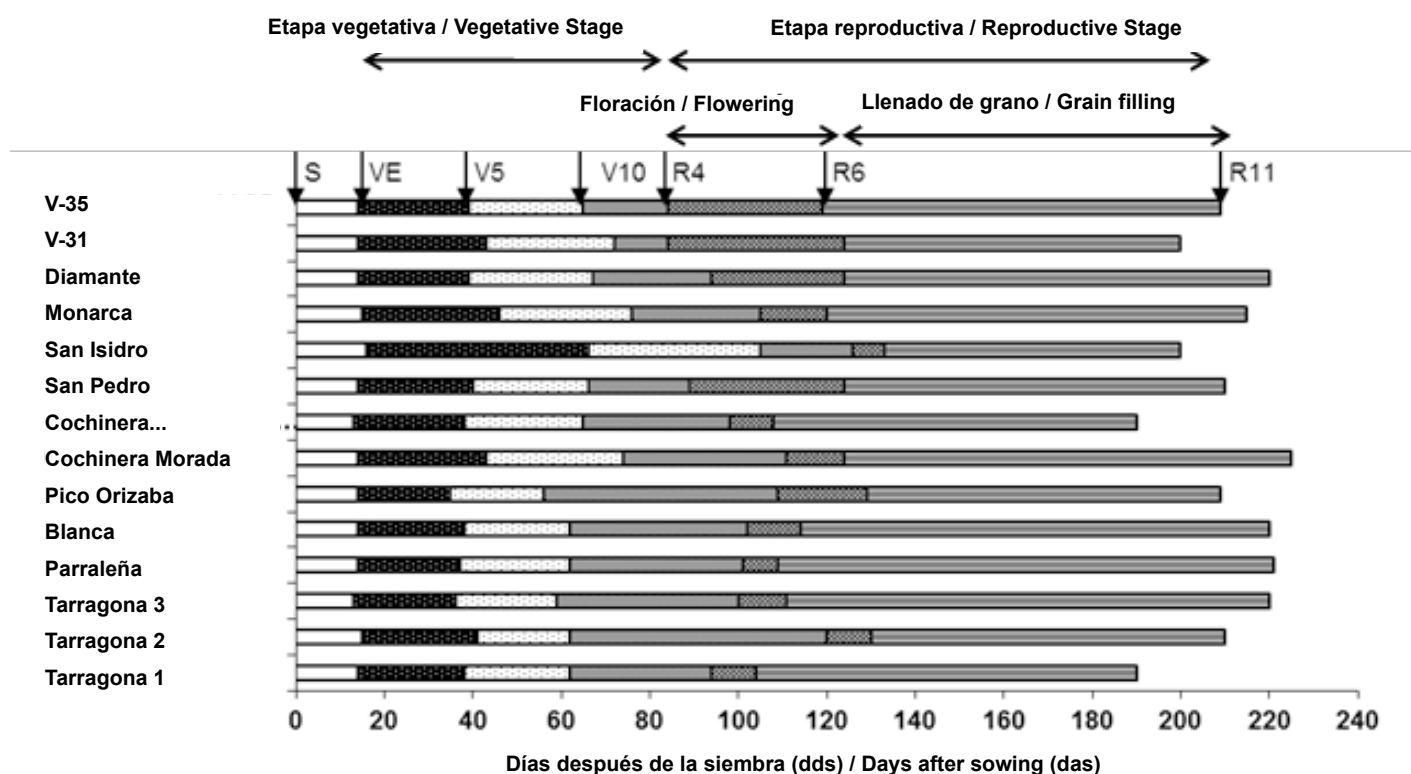


FIGURA 2. Desarrollo de cultivares de haba sembrados bajo condiciones de lluvia estacional en Ciudad Serdán, Puebla. Primavera 2006. S=siembra; VE= emergencia; V5= cinco hojas; R4= inicio de floración; R6= inicio de fructificación; R11= madurez fisiológica.

FIGURE 2. Development of faba bean cultivars under seasonal rainfall conditions in Serdán, Puebla. Spring 2006. Primavera 2006. S=sowing; VE= emergence; V5= five leaves; R4= beginning of flowering; R6= beginning of fructification; R11= physiological maturity.

su peso y se satisfacen sus requerimientos térmicos, se desencadenan los procesos que originan la germinación (Satorre *et al.*, 2003). En el cultivar 'San Isidro' otros factores que pudieron retrasar la emergencia fueron el vigor de la semilla, una cubierta seminal más dura, mayor contenido de taninos y menor contenido de proteínas (Kantar *et al.*, 1996).

La fase V-5 se presentó en promedio a los 38 dds, en la mayoría de los cultivares, con excepción de 'San Isidro', en la cual ocurrió hasta los 66 dds, posiblemente debido al mayor tiempo a emergencia (Figura 2). En cuanto a la floración (R4), 'V-31', 'V-35' y 'San Pedro' fueron los cultivares más precoces con 86 dds. En 'Tarragona 3', 'Parraleña' y 'Blanca', la fase R4 ocurrió a los 100, 101 y 102 dds. 'Tarragona 2' y 'San Isidro' fueron los más tardíos con 120 y 126 dds, respectivamente. A la madurez fisiológica (R11, que también indica la duración del ciclo del cultivo, DCC) los cultivares tardíos fueron 'Tarragona 3', 'Blanca', 'Diamante', 'Parraleña' y 'Cochinera Morada', con 220, 220, 220, 221 y 225 dds, respectivamente. Los precoces (con menos de 200 dds) fueron 'Tarragona 1', 'Cochinera Montecillo', 'San Isidro' y 'V31', con 190, 190, 200 y 200 dds, respectivamente. Estos resultados son cercanos a los reportados por Rojas-Tiempo *et al.* (2012), quienes en distintas localidades de Puebla mencionan un ciclo entre 150 y 200 dds para diferentes cultivares de haba. Cuando se analizan procesos complejos como el desarrollo del cultivo, resulta importante categorizar y simplificar las posibles respuestas de los mismos a factores genéticos, ambientales y de manejo del cultivo. Algunos de los factores ambientales que pueden modificar la tasa de desarrollo son fertilidad del suelo, disponibilidad hídrica, radiación solar, fotoperiodo y concentración de CO<sub>2</sub>. El efecto de los genotipos se manifiesta a través de la diferente sensibilidad que tienen éstos a los factores ambientales (Satorre *et al.*, 2003). Cabe señalar que el cultivar 'San Isidro', aunque fue el más tardío a R4 (126 dds), no lo fue para la fase R11, y mostró un periodo de llenado de grano más corto (67 días). Algunas variedades de haba con un periodo de llenado de grano de mayor duración muestran un rendimiento más alto (Jones *et al.*, 2003). Por otra parte, bajo las condiciones de distribución y cantidad de lluvia de la región de estudio (Figura 1), el crecimiento y rendimiento de los cultivares de ciclo largo (mayor a 200 dds) fue más limitado que los de ciclo corto (menor a 200 dds), puesto que estuvieron menos tiempo expuestos al déficit hídrico.

### Grados día desarrollo

Los cultivares en estudio presentaron diferencias en los grados día desarrollo (GDD) durante el ciclo. Así, de siembra a VE, los GDD fueron de 228 °C-día (°Cd) en promedio, donde correspondió a 'Cochinera Montecillo' el valor más bajo (207 °Cd), y a 'San Isidro', el más alto (254 °Cd), resultados que son similares a los encontrados por Pichar-

'Tarragona 3', 'Parraleña' and 'Blanca'. 'Tarragona 2' and 'San Isidro' were the later-cultivars with 120 and 126 das, respectively. With respect to physiological maturity (R11, which also indicates the duration of the crop cycle, DCC) the later cultivars were 'Tarragona 3', 'Blanca', 'Diamante', 'Parraleña' and 'Cochinera Morada', with 220, 220, 220, 221 and 225 das, respectively. The earlier cultivars (with less than 200 das) were 'Tarragona 1', 'Cochinera Montecillo', 'San Isidro' and 'V31', with 190, 190, 200 and 200 das, respectively. These results are closer to those reported by Rojas-Tiempo *et al.* (2012), who in different locations in Puebla mentioned a cycle between 150 and 200 das for different cultivars of faba bean. When complex processes such as crop development are analyzed, it is important to categorize and simplify the possible responses to genetic, environmental and crop management factors. Some of the environmental factors that may modify the rate of development are soil fertility, water availability, solar radiation, photoperiod and CO<sub>2</sub> concentration. The genotypes effect is expressed through the different sensitivity that these environmental factors have (Satorre *et al.*, 2003). It is important to mention that the "San Isidro" cultivar, although it was the later cultivar with respect to R4 (126 das), it was not in the case of phase R11, and showed a period of shorter grain filling (67 days). Some varieties of faba bean with a period with longer filling grain duration shows a higher yield (Jones *et al.*, 2003). Moreover, under the conditions of distribution and amount of rainfall in the study region (Figure 1), growth and yield of long duration cultivars (higher than 200 das) was more limited, by longer be exposed to water deficit.-

### Growth degree days

The cultivars of the study showed differences in growth degree days (GDD) during the cycle. So from sowing to VE, GDD were 228 °C-day (°Cd) on average, where 'Cochinera Montecillo' had the lowest value (207 °Cd) and 'San Isidro' had the highest value (254 °Cd), results that are similar to those found by Pichardo *et al.* (2007) for 'Cochinera Montecillo'. From sowing to R4 (flowering), any cultivar of those studied here requires a minimum of 1,404 °Cd. The lowest heat requirement corresponded to 'V-31', 'V-35' and 'San Pedro' with 1,404, 1,404 and 1,473 °Cd, respectively, meanwhile 'Cochinera Morada', 'Tarragona 2' and 'San Isidro' had the highest heat requirement with 1,837, 1,983 and 2,082 °Cd, respectively. 'V31', 'San Pedro', 'Cochinera Montecillo', 'Tarragona 1', 'V31' and 'San Pedro' had the lowest GDD values with 3,020, 3,020, 3,155 and 3,155 °Cd; and the highest were for 'Blanca', 'Tarragona 3', 'Parraleña' and 'Cochinera Montecillo' with 3,430, 3,430, 3,439 and 3,447 °Cd in the case of physiological maturity (R11), respectively. The knowledge of GDD for each cultivar allows us to estimate the time of occurrence, duration of each phenological stage and physiological maturity, which will help to schedule the harvest activities in a proper manner.

do *et al.* (2007) para 'Cochinera Montecillo'. De siembra a R4 (floración), cualquier cultivar de los aquí estudiados requiere un mínimo de 1,404 °Cd. El requerimiento de calor más bajo correspondió a 'V-31', 'V-35' y 'San Pedro' con 1,404, 1,404 y 1,473 °Cd, respectivamente, mientras que para 'Cochinera Morada', 'Tarragona 2' y 'San Isidro' correspondió el más alto con 1,837, 1,983 y 2,082 °Cd, respectivamente. A madurez fisiológica (R11), 'V31', 'San Pedro', 'Cochinera Montecillo', 'Tarragona 1', 'V31' y 'San Pedro' presentaron los valores de GGD más bajos con 3,020, 3,020, 3,155 y 3,155 °Cd; y los más altos correspondieron a 'Blanca', 'Tarragona 3', 'Parraleña' y 'Cochinera Montecillo' con 3,430, 3,430, 3,439 y 3,447 °Cd, respectivamente. El conocimiento de los GDD para cada cultivar nos permite estimar el tiempo de ocurrencia, duración de cada fase fenológica y la fecha a madurez fisiológica, lo cual ayudará a programar apropiadamente las actividades de cosecha.

### Rendimiento de vaina verde y componentes

El rendimiento de vaina verde total (RVV), longitud (L), anchura (A), número de vainas verdes (NVV) y peso de vaina (PV) mostraron diferencias altamente significativas entre cultivares (Cuadro 1). En el RVV de cada cultivar, el primer corte fue el de mayor contribución al rendimiento

### Green pod yield and components

Total green pod yield (GPY), length (L), width (W), number of green pods (NGP) and pod weight (PW) showed highly significant differences among cultivars (Table 1). In GPY of each cultivar, the first cut was the greatest contribution to the final yield (61 %), the third cut only provided 13 %. The statistical analysis grouped nine cultivars with higher yield. 'Cochinera Morada' showed the highest GPY (337.4 g·m<sup>-2</sup>), followed by 'San Pedro' (922.4 g·m<sup>-2</sup>), and surpassed the landrace ('Pico de Orizaba') with 34 and 19 %, respectively. The greatest production of 'Cochinera Morada' was due to an increase in NGP (Escalante y Rodríguez, 2011). The lowest values for NGP were found in 'Tarragona 1', 'Monarca', 'Diamante', 'Parraleña' and 'Cochinera Montecillo'. This last cultivar reached only 44 % of the NGP from 'Cochinera Morada', due to the lowest PW (6.4 g).

There were differences among cultivars in PW. 'San Isidro' y 'Tarragona 2' showed the highest PW with 13.8 and 13.1 g, respectively. However, these cultivars along with the cultivar 'Diamante', showed the lowest NGP. This behavior is common in legumes and other crops, where the increase of a component is offset by the decrease of the other. This phenomenon is called "yield components compensation" (Escalante *et al.*, 1980; Agung and McDonald, 1998).

**CUADRO 1. Rendimiento en vaina verde (RVV), longitud (L), anchura (A), peso de vaina (PV) y número de vainas verdes (NVV) en 14 cultivares de haba sembrada bajo condiciones de lluvia estacional en Ciudad Serdán, Puebla. Primavera 2006.**

**TABLE 1. Green pod yield (GPY), length (L), width (W), pod weight (PW) and number of green pods (NGP) in 14 cultivars of faba bean grown under seasonal rainfall conditions in Serdán, Puebla. Spring 2006.**

Cultivar	RVV (g·m <sup>-2</sup> ) / GPY (g·m <sup>-2</sup> )				L (cm)	A (mm)	PV (g)	NVV (m <sup>2</sup> )
	Corte 1 / Cut 1	Corte 2 / Cut 2	Corte 3 / Cut 3	Total				
'Tarragona 1'	426.6	184.1	82.3	693.0 bc <sup>z</sup>	8.3 a	19.7 bcde	11.0 ab	6.9 bc
'Tarragona 2'	495.2	152.1	126.6	773.8 abc	7.1 ab	19.4 bcde	13.1 a	62.8 c
'Tarragona 3'	470.7	265.7	90.1	826.4 ab	7.5 ab	21.1 abc	10.8 ab	76.2 bc
'Parraleña'	355.0	173.7	69.3	598.0 bc	7.5 ab	17.5 de	8.6 ab	69.3 bc
'Blanca'	505.9	212.7	126.0	844.6 ab	5.9 b	17.8 cde	10.3 ab	82.4 abc
'Pico de Orizaba'	480.6	203.3	88.9	772.7 abc	8.7 a	23.4 a	11.9 ab	64.7 bc
'Cochinera Morada'	644.3	219.1	174.1	1037.4 a	7.5 ab	18.5 cde	9.2 ab	113.0 a
'Cochinera Montecillo'	282.7	107.1	66.3	456.1 c	6.2 b	16.4 e	6.4 b	71.5 bc
'San Pedro'	538.7	267.5	116.3	922.4 ab	8.2 a	21.3 ab	9.9 ab	98.0 ab
'San Isidro'	494.4	156.6	117.2	768.2 abc	7.0 ab	20.1 abcd	13.8 a	60.7 c
'Monarca'	398.3	200.3	71.7	670.2 bc	8.3 a	20.5 abcd	8.8 ab	74.4 bc
'Diamante'	428.4	148.4	80.1	656.9 bc	8.4 a	20.9 abc	11.7 ab	56.1 c
'V-31'	438.2	203.5	121.8	763.5 abc	8.2 a	19.2 bcde	11.1 ab	68.5 bc
'V-35'	505.5	218.7	111.8	836.0 abc	8.1 a	19.7 bcde	10.9 ab	76.9 bc
CV(%)				17	9	7	20	18
DSH <sub>0.05</sub>				758***	1.7***	3.4***	5.9**	34.7***

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . \*\*, \*\*\*, Significativo a una  $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.001$ , respectivamente. CV = coeficiente de variación.

<sup>z</sup>Values with the same letter within each column are equal according to the Tukey test at  $P \leq 0.05$ . \*\*, \*\*\*, Significant at  $P \leq 0.01$  and  $P \leq 0.001$ , respectively. CV = coefficient of variation.

final (61 %); el tercer corte sólo aportó 13 %. El análisis estadístico agrupó a nueve cultivares con mayor rendimiento. 'Cochinera Morada' mostró el RVV más alto (337.4 g·m<sup>-2</sup>), seguido de 'San Pedro' (922.4 g·m<sup>-2</sup>), y superaron al cultivar local nativo ('Pico de Orizaba') en 34 y 19 %, respectivamente. La mayor producción de 'Cochinera Morada' se debió a un incremento en el NVV (Escalante y Rodríguez, 2011). Los RVV más bajos se encontraron en 'Tarragona 1', 'Monarca', 'Diamante', 'Parraleña' y 'Cochinera Montecillo'. Este último alcanzó sólo el 44 % del RVV de 'Cochinera Morada', debido al menor PV (6.4 g).

Se observaron diferencias entre cultivares en el PV. 'San Isidro' y 'Tarragona 2' mostraron el PV más alto con 13.8 y 13.1 g, respectivamente. No obstante, dichos cultivares junto con 'Diamante', presentaron el NVV más bajo. Este comportamiento es común en leguminosas y otros cultivos, en donde el aumento de un componente se ve compensado por la disminución del otro. A este fenómeno se le denomina "compensación de componentes de rendimiento" (Escalante *et al.*, 1980; Agung y McDonald, 1998).

La longitud (L) de la vaina fluctuó entre 6.0 y 8.7 cm. 'Pico de Orizaba' fue el cultivar de mayor L (8.7 cm), aunque no superó estadísticamente a 'Tarragona 1', 'San Pedro', 'Monarca', 'Diamante', 'V-31' y 'V-35', que presentaron una L promedio de 8.3 cm. Los cultivares 'San Isidro', 'Tarragona 2' y 'Tarragona 3', 'Cochinera Morada' y 'Parraleña' mostraron entre 7.0 y 7.5 cm. Las vainas de menor L fueron las de 'Cochinera Montecillo' y 'Blanca' (Cuadro 1). Esta característica es muy importante para la comercialización en vaina verde, debido a que el mercado consumidor prefiere un producto con vaina larga. Para uso agroindustrial esta característica no es relevante, ya que sólo se utilizan los granos verdes (Bascur, 1997). Por otra parte, la mayor anchura (A) de vaina se encontró en 'Pico de Orizaba', 'San Pedro' y 'Tarragona 3', que superaron en 6 % a 'San Isidro', 'Monarca' y 'Diamante', con una A que osciló entre 20.1 y 20.9 mm. 'Cochinera Montecillo' mostró la menor A, 7 mm menos que el valor más alto (Cuadro 1). La L y A de la vaina se relacionan con el tamaño de semilla. Así, plantas originadas con semillas grandes tendrán vainas de mayor L y A, en comparación con aquellas desarrolladas a partir de semillas pequeñas (Al-Refaee *et al.*, 2004).

En la Figura 3 se observa que el RVV se relacionó principalmente con el PV ( $R^2=0.62^{**}$ ) y NVV ( $R^2=0.58^{**}$ ) y, en menor grado, con la L ( $R^2=0.35^{**}$ ) y A ( $R^2=0.22^{**}$ ). Es decir, que el 62 % de la variabilidad en el RVV puede atribuirse a una relación polinómica con el PV. Bozoglu *et al.* (2002) encontraron que el mayor RVV correspondió a aquellos cultivares que presentaban una mayor longitud, diámetro y anchura de vaina, lo cual contrasta con los resultados de este estudio, pero coinciden con los de Chávez y de León (2000), quienes encontraron que el RVV se relacionó principalmente con el número de vainas.

The pod length (L) ranged between 6.0 and 8.7 cm. 'Pico de Orizaba' was the cultivar with the highest L (8.7 cm), although it did not statistically exceeded 'Tarragona 1', 'San Pedro', 'Monarca', 'Diamante', 'V-31' and 'V-35', which showed an average L of 8.3 cm. The cultivars 'San Isidro', 'Tarragona 2' and 'Tarragona 3', 'Cochinera Morada' and 'Parraleña' showed between 7.0 and 7.5 cm. The pods with lower L were 'Cochinera Montecillo' and 'Blanca' (Table 1). This characteristic is very important for marketing green pod, because the consumer prefers a long pod. For agro-industrial use this characteristic is not important, because only the green grains are used (Bascur, 1997). Moreover, the greater pod width (W) was found in 'Pico de Orizaba', 'San Pedro' and 'Tarragona 3', which surpassed 'San Isidro', 'Monarca' y 'Diamante' by 6 %, with a W that ranged between 20.1 and 20.9 mm. 'Cochinera Montecillo' had the lowest W, 7 mm less than the highest value (Table 1). L and W of the pod are related to the size of the seed. Thus, plants originated with large seeds will have pods with greater L and W, compared to those developed using small seeds (Al-Refaee *et al.*, 2004).

Figure 3 shows that GPY was mainly related to PW ( $R^2=0.62^{**}$ ) and NGP ( $R^2=0.58^{**}$ ) and to a lesser extend with L ( $R^2=0.35^{**}$ ) and W ( $R^2=0.22^{**}$ ). That is, 62 % of the variability in GPY can be attributed to a polynomial relationship with PW. Bozoglu *et al.* (2002) found that the greatest GPY corresponds to those cultivars with a greater pod length, diameter and width, which contrasts with the results of this study, but agree with the results provided by Chávez y de León (2000), who found that GPY was mainly related to the number of pods.

### Total biomass and harvest index

The total biomass production (TB) and the harvest index (HI) showed highly significant differences among cultivars. The highest TB corresponded to 'Pico de Orizaba', 'Cochinera Morada', 'Blanca', 'Tarragona 3' and 'Parraleña', which may be a result of a higher leaf area index, leaf area duration (LAD), DCC, and therefore higher intercepted radiation (Confalone *et al.*, 2010). The lowest TB was found in the cultivars 'V-31' and 'San Isidro', 293.6 and 277.6 g·m<sup>-2</sup>, respectively, with shorter growth cycle.

Moreover, 'Blanca' was more efficient accumulating dry matter in the seed, which was reflected in a higher HI (62.5 %). Along with 'Blanca' stood out 'Tarragona 1', 'Tarragona 2', 'Tarragona 3', 'Parraleña', 'Cochinera Morada', 'Cochinera Montecillo', 'San Pedro', 'San Isidro' and 'V-31', with an average HI of 51 %. Katyar and Sing (1990) indicate that the maximum HI in faba bean is close to 50 %. The cultivar 'V-31' had the lowest HI (39 %). 'Pico de Orizaba' showed a HI of 41 % (Table 2). The HI of the cultivars of the present study was higher to that reported by Navarro



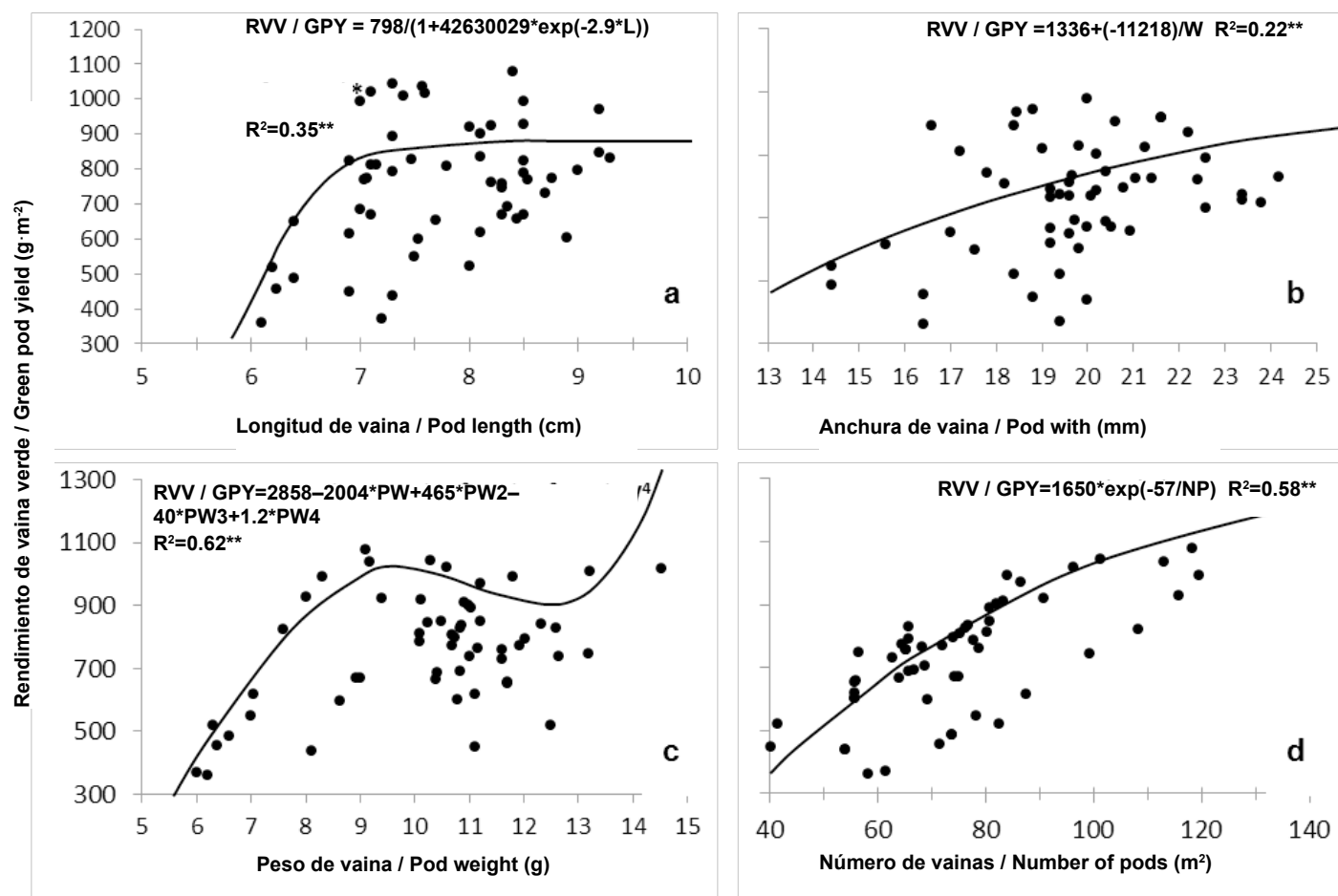


FIGURA 3. Relación entre rendimiento de vaina verde y la longitud de vaina (a), anchura de vaina (b), peso de vaina (c) y número de vainas m<sup>-2</sup> (d) en 14 cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de lluvia en Ciudad Serdán, Puebla. Primavera, 2006.

FIGURE 3. Relationship between green pod yield and pod length (a), pod width (b), pod weight (c) and number of pods m<sup>-2</sup> (d) in 14 faba bean cultivars grown under seasonal rainfall conditions in Serdán, Puebla. Spring 2006.

### Biomasa total e índice de cosecha

La producción de biomasa total (BT) y el índice de cosecha (IC) mostraron diferencias altamente significativas entre cultivares. La BT más alta correspondió a 'Pico de Orizaba', 'Cochinera Morada', 'Blanca', 'Taragona 3' y 'Parraleña', lo cual puede ser resultado de un mayor índice de área foliar, duración del área foliar (DAF), DCC y, en consecuencia, mayor radiación interceptada (Confalone *et al.*, 2010). La BT más baja se encontró en los cultivares 'V-31' y 'San Isidro', y fue de 293.6 y 277.6 g·m<sup>-2</sup>, respectivamente, con ciclo de crecimiento más corto.

Por otra parte, 'Blanca' fue más eficiente en acumular materia seca en la semilla, lo que se reflejó en un IC más alto (62.5 %). Junto con 'Blanca' destacaron 'Tarragona 1', 'Tarragona 2', 'Tarragona 3', 'Parraleña', 'Cochinera Morada', 'Cochinera Montecillo', 'San Pedro', 'San Isidro' y 'V-31', con IC promedio de 51 %. Katyar y Sing (1990) indican que el máximo IC en haba es cercano a 50 %. El cultivar 'V-31' presentó el IC más bajo (39 %). 'Pico de Orizaba'

*et al.* (2007), Guadarrama *et al.* (2007) and Pichardo *et al.* (2007). However, to make valid comparisons of HI between species and genotypes, it is important to consider the environment, to count or not the root dry weight and fallen leaves, and to know the content of carbohydrates, oil and protein of the seed (Kantolic *et al.*, 2003). In general, the cultivars with greatest TB were those with greater DCC ( $R^2=0.90^{**}$ ), which is expected, since due to its greater DCC it has the opportunity to capture more solar radiation, and thus, greater dry matter production.

### Yield and components

The analysis of variance for dry grain yield (GY), number of grains (NG), pods (GP) and weight of 50 grains (WFG) showed significant differences among cultivars. A group of seven cultivars showed the highest GY with a difference of 112 g·m<sup>-2</sup> among cultivars. 'Blanca' was the cultivar that showed the highest GY with 357.4 g·m<sup>-2</sup>, the greatest NP per m<sup>2</sup> (171.1), HI of 62 %, NG of 182.6 per m<sup>2</sup> and WFG of 98.1 g. NP is considered as the main component

**CUADRO 2. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes, en cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de lluvia estacional en Ciudad Serdán, Puebla. Primavera 2006.**

**TABLE 2. Biomass, harvest index, grain yield and components in faba bean cultivars grown under seasonal rainfall conditions in Serdán, Puebla. Spring 2006.**

Cultivar	Biomasa / Biomass (g·m <sup>-2</sup> )	Rendimiento / Yield (g·m <sup>-2</sup> )	Vainas / Pods (m <sup>2</sup> )	Granos / Grains (m <sup>2</sup> )	PCG / WFG (g)	IC / HI (%)
'Tarragona 1'	498.7 abcd <sup>z</sup>	258.2 abcd	10.3 bc	119.2 bcd	108.3 bc	51.5 abc
'Tarragona 2'	352.0 def	174.7 def	57.8 c	68.5 d	128.0 a	50.0 abc
'Tarragona 3'	552.2 abcd	302.8 abc	105.0 bc	135.4 bcd	111.8 b	54.5 ab
'Parraleña'	548.7 abcd	301.1 abc	89.3 bc	153.5 bc	98.5 d	55.2 ab
'Blanca'	575.9 abc	357.4 a	171.2 a	182.6 b	98.1 d	62.5 a
'Pico de Orizaba'	675.5 a	276.9 abcd	120.8 abc	130.9 bcd	105.7 c	41.5 bc
'Cochinera Morada'	623.0 ab	313.0 ab	117.6 abc	177.6 b	88.1 e	50.2 abc
'Cochinera Montecillo'	464.1 bcdef	245.7 abcd	133.4 ab	273.7 a	44.8 i	53.5 abc
'San Pedro'	414.6 cdef	212.1 bcdef	91.4 bc	100.7 cd	105.1 c	51.0 abc
'San Isidro'	277.6 f	129.5 f	69.3 bc	116.3 bcd	55.6 h	47.7 abc
'Monarca'	408.4 cdef	190.8 cdef	102.9 bc	136.3 bcd	69.8 fg	47.2 bc
'Diamante'	339.6 ef	167.3 def	71.4 bc	101.1 cd	82.8 e	49.2 abc
'V-31'	293.6 f	113.2 f	55.7c	87.8 cd	64.5 g	39.0 c
'V-35'	338.1 ef	135.8 ef	59.9 c	92.0 cd	73.9 f	41.5b c
CV(%)	18	20	26	22	3	12
DSH <sub>0.05</sub>	203***	114***	66***	73***	6***	16***

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . \*\*\*, significativo a una  $P \leq 0.001$ . CV = coeficiente de variación. PCG = Peso de cincuenta granos, IC= Índice de Cosecha.

<sup>z</sup>Values with the same letter within each column are equal according to the Tukey' test at  $P \leq 0.05$ . \*\*\*, significant at  $P \leq 0.001$ . CV = coefficient of variation. WFG = Weight of fifty grains, HI= Harvest index.

mostró un IC de 41 % (Cuadro 2). El IC de los cultivares de este estudio fue superior al reportado por Navarro *et al.* (2007), Guadarrama *et al.* (2007) y Pichardo *et al.* (2007). Sin embargo, para establecer comparaciones válidas del IC, entre especies y genotipos, es importante considerar el ambiente, la contabilización o no del peso seco de raíz y hojas caídas, además de conocer el contenido de carbohidratos, aceite y proteína de la semilla (Kantolic *et al.*, 2003). En general, los cultivares con mayor BT fueron los de mayor DCC ( $R^2=0.90^{**}$ ), lo que era de esperarse, puesto que por su mayor DCC tienen oportunidad de captar mayor radiación solar y en consecuencia mayor producción de materia seca.

### Rendimiento y sus componentes

El análisis de varianza para el rendimiento de grano seco (RG), número de granos (NG), vainas (NV) y peso de 50 granos (PCG) mostró diferencias significativas entre cultivares. Un grupo de siete cultivares presentó el RG más alto con una diferencia de 112 g·m<sup>-2</sup> entre cultivares. 'Blanca' fue el cultivar que mostró el RG más elevado con 357.4 g·m<sup>-2</sup>, mayor NV por m<sup>2</sup> (171.1), IC de 62 %, NG de

which modifies the yield (Pichardo *et al.*, 2007). Escalante and Rodríguez (2011) found that between 98 and 85 % of the variation in yield is mainly due to changes in NG and NP. Since NP is the result of the production and fallen fruits, it is very important that during the reproductive phases, the crop is not stressed reducing the photosynthetic rate such as water deficit, nutrition, temperature, among others.

The cultivars 'San Isidro', 'V-35', 'Diamante', 'Tarragona 2', 'Monarca', 'San Pedro' and 'V-31' had the lowest GY (129.5 a 113.2 g·m<sup>-2</sup>), which was due to a lower NP and HI (Table 2). Morales *et al.* (2002), in the región of Tecamac, México, found greater GY in 'V-35', 'V-31' and 'San Pedro'. This behavior is possibly because these cultivars show specific adaptation to the local environment (Ceretta *et al.*, 1998) and the environmental conditions of Serdán prevent a greater expression of its GY.

The cultivars 'Blanca' and 'Cochinera Morada' can be used to achieve a higher GY in the region (Table 2) compared to the local cultivar. In general, the cultivars with the greatest GY were those with greater DCC ( $R^2=0.87^{**}$ ). The main purpose of a grain production system is to achieve

182.6 por m<sup>2</sup> y PCG de 98.1 g. El NV se considera como el principal componente que modifica el rendimiento (Pichardo *et al.*, 2007). Escalante y Rodríguez (2011) encontraron que entre el 98 y 85 % de la variación en el rendimiento se debe principalmente a cambios en NG y NV. Dado que el NV es el resultado de la producción y caída de frutos, es de suma importancia que durante las fases reproductivas el cultivo no presente ningún estrés que reduzca la tasa fotosintética, como déficit hídrico, nutrición, temperatura, entre otros.

El RG más bajo se encontró con 'San Isidro', 'V-35', 'Diamante', 'Tarragona 2', 'Monarca', 'San Pedro' y 'V-31' (129.5 a 113.2 g·m<sup>-2</sup>), que fue producto de un menor NV e IC (Cuadro 2). Morales *et al.* (2002), en la región de Tecámac, México, encontraron mayor RG en 'V-35', 'V-31' y 'San Pedro'. Este comportamiento se debe posiblemente a que estos cultivares presentan adaptación específica al ambiente local (Ceretta *et al.*, 1998), y las condiciones ambientales de Ciudad Serdán limitan una mayor expresión de su RG.

En comparación con el cultivar local, 'Blanca' y 'Cochinera Morada' pueden ser utilizados para lograr un mayor RG en la región (Cuadro 2). En general, los cultivares de mayor RG fueron los de mayor DCC (R<sup>2</sup>=0.87\*\*). El objetivo principal de un sistema de producción de granos es

a maximum grain yield expression. Most of the success achieve in the last years incrementing the production is due to the development and use of cultivars adapted to each locality (Satorre *et al.*, 2003).

### Relationship among the agronomic characters studied

GY showed a positive relationship with TB, NP, NG, WFG and HI (R<sup>2</sup>= 0.89\*\*, 0.64\*\*, 0.65\*\*, 0.38\* and 0.62\*\*, respectively). Musallam *et al.* (2004) and Morales *et al.* (2002) found similar tendencies among GY, NP and WFG. Robertson and El-Sherbeeney (1988) found a strong relationship between GY and TB and GY and WFG. These results suggest a compensatory mechanism between the size of the grain and the number of grains (Escalante *et al.*, 1980). The positive relationship among GY, and TB, NP, NG and HI show the importance of these components to determine the final faba bean yield and that they are characters that can increase by breeders to reach a high yield (Escalante y Rodríguez, 2011). The positive relationship among TB, HI and WFG was not significant.

### Water use efficiency

Highly significant differences were found among cultivars with respect to water use efficiency (WUE) for TB and

**CUADRO 3. Eficiencia en el uso del agua (EUA) para biomasa y rendimiento de grano seco en cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de lluvia estacional en Ciudad Serdán, Puebla. Primavera 2006.**

**TABLE 3. Water use efficiency (WUE) for biomass and dry grain yield in faba bean cultivars grown under seasonal rainfall conditions in Serdán, Puebla. Spring 2006.**

Cultivar	EUA (g·m <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup> )	
	Biomasa / Biomass	Rendimiento / Yield
'Tarragona 1'	1.11 abcde <sup>z</sup>	0.57 abcd
'Tarragona 2'	0.75 cdef	0.37 def
'Tarragona 3'	1.13 abcd	0.62 abc
'Parraleña'	1.12 abcde	0.62 abc
'Blanca'	1.17 abc	0.73 a
'Pico de Orizaba'	1.43 a	0.59 abcd
'Cochinera Morada'	1.27 ab	0.64 ab
'Cochinera Montecillo'	1.03 abcdef	0.55 abcde
'San Pedro'	0.88 bcdef	0.45 bcdef
'San Isidro'	0.61 f	0.28 f
'Monarca'	0.85 cdef	0.40 cdef
'Diamante'	0.69 ef	0.34 ef
'V-31'	0.64 f	0.25 f
'V-35'	0.72 def	0.29 f
CV (%)	18	20
DSH <sub>0.05</sub>	0.43***	0.24***

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una P ≤ 0.05. \*\*\*, Significativo a una P ≤ 0.001. CV= coeficiente de variación.

<sup>z</sup>Values with the same letter within each column are equal according to the Tukey test at P ≤ 0.05. \*\*\*, Significant at P ≤ 0.001. CV= coefficient of variation.

lograr una máxima expresión del rendimiento. Gran parte del éxito logrado en los últimos años en incrementar la producción, se ha debido al desarrollo y utilización de cultivares adaptados para cada localidad (Satorre *et al.*, 2003).

### Relación entre los caracteres agronómicos estudiados

El RG mostró una relación positiva con BT, NV, NG, PCG e IC ( $R^2=0.89^{**}$ ,  $0.64^{**}$ ,  $0.65^{**}$ ,  $0.38^*$  y  $0.62^{**}$ , respectivamente). Musallam *et al.* (2004) y Morales *et al.* (2002) encontraron tendencias similares entre el RG y la BT, NV y PCG. Robertson y El-Sherbeeney (1988) encontraron una relación alta entre el RG y la BT y RG y el PCG. Estos resultados sugieren un mecanismo de compensación entre el tamaño del grano y el número de granos (Escalante *et al.*, 1980). La relación positiva entre el RG y la BT, NV, NG e IC indican la importancia de estos componentes para determinar el rendimiento final del haba y que son caracteres objeto de incrementar por los fitomejoradores para lograr un rendimiento alto (Escalante y Rodríguez, 2011). La relación positiva entre la BT, IC y PCG no fue significativa.

### Eficiencia en el uso del agua

En la eficiencia en el uso del agua (EUA) para la BT y RG se encontraron diferencias altamente significativas entre cultivares (Cuadro 3). 'Pico de Orizaba', 'Cochinera Morada', 'Cochinera Montecillo', 'Blanca', 'Tarragona 1', 'Tarragona 3' y 'Parraleña' mostraron la EUA para BT más alta con un promedio de  $1.18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ . Destaca el cultivar local nativo con  $1.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ . La EUA más baja se observó en 'San Isidro' y 'V-31' con  $0.61$  y  $0.64 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , respectivamente. Uno de los principales factores por los que difiere la EUA es el cultivar o variedad, por la variabilidad en la optimización de los procesos de asimilación de carbono y de evapotranspiración (Medrano *et al.*, 2007).

Con respecto a la EUA para RG, 'Blanca' mostró la eficiencia más alta con  $0.73 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$  y fue estadísticamente igual a 'Cochinera Morada', 'Cochinera Montecillo', 'Tarragona 1', 'Tarragona 3', 'Parraleña' y 'Pico de Orizaba'. Los cultivares 'San Isidro', 'V-31' y 'V35' presentaron la EUA más baja (Cuadro 3). La mayor EUA en 'Blanca', posiblemente se debió a una mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  fijado por unidad de agua transpirada; es decir, en el cultivar Blanca hay una mayor producción de semilla ante un mismo consumo de agua. Así, los resultados sugieren que 'Pico de Orizaba' y 'Blanca' son cultivares con posibilidad de alcanzar elevadas tasas de crecimiento en regiones con precipitación limitada. En contraste, se podría identificar a 'San Isidro' y 'V-31' como cultivares con baja EUA, BT y RG. La EUAG mostró una relación alta con RG ( $R^2=0.90^{***}$ ) y la EUAB con la BT ( $R^2=0.98^{***}$ ), lo que indica que una EUA más alta se reflejará en mayor BT y RG.

GY (Table 3). 'Pico de Orizaba', 'Cochinera Morada', 'Cochinera Montecillo', 'Blanca', 'Tarragona 1', 'Tarragona 3' and 'Parraleña' showed the highest WUE for TB with an average of  $1.18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ . The native cultivar stands out with  $1.43 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ . 'San Isidro' and 'V-31' had the lowest WUE with  $0.61$  and  $0.64 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$ , respectively. One of the main factors that make WUE to differ is the cultivar or variety, due to the variability in the optimization of carbon assimilation and evapotranspiration processes (Medrano *et al.*, 2007).

With respect to WUE for GY, the cultivar 'Blanca' showed the highest efficiency with  $0.73 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$  and was statistically similar to 'Cochinera Morada', 'Cochinera Montecillo', 'Tarragona 1', 'Tarragona 3', 'Parraleña' and 'Pico de Orizaba'. The cultivars 'San Isidro', 'V-31' and 'V35' had the lowest WUE (Table 3). The highest WUE was probably due to a greater amount of  $\text{CO}_2$  fixed per unit of transpired water; in other words, the cultivar 'Blanca' has a greater production of seeds with the same water consumption. Thus, the results suggest that the cultivars 'Pico de Orizaba' and 'Blanca' have the possibility of achieving high growth rates in regions with limited rainfall. In contrast, we could say that the cultivars 'San Isidro' and 'V-31' have low WUE, TB and GY. GWUE showed a strong relationship with GY ( $R^2=0.90^{***}$ ) and BWUE with TB ( $R^2=0.98^{***}$ ), indicating that a higher WUE is reflected in a higher TB and GY.

## CONCLUSIONS

The crop cycle and phenological stages showed changes among cultivars in the region of Serdán, Puebla.

There is a positive relationship between pod weight and number of pods with green faba bean yield.

The local cultivar can be replaced by the following cultivars: 'Blanca', 'Cochinera Morada', 'Parraleña' or 'Tarragona 3' to reach a higher yield in the study region.

The cultivar 'Cochinera Morada', due to its greater production of green pod and dry grain, is the most appropriate cultivar for seasonal sowing in the region of Serdán, Puebla.

*End of English Version*

## CONCLUSIONES

En la región de Ciudad Serdán, Puebla, el ciclo de cultivo y etapas fenológicas mostraron cambios entre cultivares.

Existe una relación positiva entre peso de vaina y número de vainas con el rendimiento en haba verde.

El cultivar local nativo puede ser sustituido por 'Blanca', 'Cochinera Morada', 'Parraleña' o 'Tarragona 3' para lograr un rendimiento más alto en la región de estudio.

Por su mayor producción tanto en vaina verde como en grano seco, 'Cochinera Morada' es la más apropiada para la siembra de temporal en la región de Ciudad Serdán, Puebla.

## LITERATURA CITADA

- AGUNG, S.; MCDONALD, G. K. 1998. Effect of size and maturity on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) Aust. Journal Agric. Res. 49: 79–88. doi: 10.1071/A97030#sthash.4Ux0s8qH.dpuf
- ALAN, O.; GEREN, H. 2007. Evaluation of heritability and correlation for seed yield and components in faba bean (*Vicia faba* L.). J. Agron. 6(3): 484–487. doi: 10.3923/ja.2007.484.487
- ÁLVAREZ M. D.; MATEOS J.; PEINADO M. V.; CAPÓ M. A. 2006. *Vicia faba* L.: Capacidad bioindicadora de contaminación de agua por metilmercurio. Observatorio Medioambiental 9:111–123. <http://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0606110111A/21432>
- AL-REFAEE, M.; TURK, M.; TAWAHA, A. 2004. Effect of seed size and plant population density on yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L. Major). International Journal of Agriculture and Biology 6(2): 294–299. [http://fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL\\_6\\_NO\\_2/20.pdf](http://fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL_6_NO_2/20.pdf)
- ANÓNIMO. 2000. El Cultivo de Haba en Bolivia. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz, Bolivia. 34 p.
- ANÓNIMO. 2012. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>.
- BASCUR B. G. 1997. Adaptación de la variedad de haba (*Vicia faba* L.) Portuguesa-INIA para producción de grano seco y uso agroindustrial en la zona centro norte de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 57(1): 70–76. [http://www.chileanjar.cl/online/ingles/v57n1/art11\\_e\\_1\\_1997.htm](http://www.chileanjar.cl/online/ingles/v57n1/art11_e_1_1997.htm)
- BOZOGLU, A. P.; PEKSEN, E.; GÜLÜMSER, A. 2002. Determination of green pod yield and some pod characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar/lines grown in different row spacing. Acta Hort. 579: 347–350. [http://www.actahort.org/books/579/579\\_58.htm](http://www.actahort.org/books/579/579_58.htm)
- CERETTA, S.; ABADIE, T.; OZERAMI, H.; ARBELBIDE, M. 1998. El uso de redes de experimentos para estudiar la adaptación de los cultivos. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. CIRAD. Paysandú. Uruguay. pp. 9–13.
- CHÁVEZ, A. G. A.; DE LEÓN, J. A. 2000. Evaluación de cuatro épocas de siembra en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en monocultivo, en tres localidades de Departamento de Quetzaltenango. Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas. Guatemala, Guatemala. 20 p.
- CONFALONE, A.; LIZASOB, J.; RUIZ, B.; LÓPEZ, C.; SAU F. 2010. Growth, PAR use efficiency, and yield components of field-grown *Vicia faba* L. under different temperature and photoperiod regimes. Field Crops Res. 115(2): 140–148. doi: 10.1016/j.fcr.2009.10.014
- DE COSTA W. A. J. M.; DENNETT, M. D.; RATWEERA, U.; NYALEMEGBE, K. 1997. Effects of different water regimes of field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.). II. Yield, yields components and harvest index. Field Crops Res. 52: 169–178. doi: 10.1016/S0378-4290(96)01060-X
- DÍAZ R., R.; ESCALANTE E., A. 2009. Faba beans (*Vicia faba* L.) in Mexico. Grain Legumes 51:32–33. [http://www.ias.csic.es/grainlegumesmagazine/Grain\\_Legumes\\_issue\\_51.pdf](http://www.ias.csic.es/grainlegumesmagazine/Grain_Legumes_issue_51.pdf)
- ESCALANTE E., J. A.; KOHASHI, S. J.; GÓMEZ, R. O. B. 1980. Efecto del sombreado artificial en tres épocas a partir de la floración sobre el rendimiento de semilla y sus componentes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia 42: 5–16.
- ESCALANTE E., J. A. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. Terra 19: 19–27. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/19/1/art19-27.pdf>
- ESCALANTE E., J. A. S.; RODRÍGUEZ G., M. T. 2011. Biomasa y rendimiento en haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. Ciencias Agrícolas Informa 20(1)16–25. <http://cienciasagricolasinforma.com.mx/CIA/CAI/201/PDF/ART02.pdf>
- GARCÍA E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 217 p.
- GUADARRAMA, Q. A.; ESCALANTE, E. J. A.; RODRÍGUEZ, G. M. T.; SÁNCHEZ, G. P. SANDOVAL, C. E. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. Terra Latinoamericana 25(2): 145–154. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/573/57325209.pdf>
- JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D. 2003. The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy. 18: 235–265. doi: 10.1016/S1161-0301(02)00107-7
- KANTAR, F.; PILBEAM, C. J.; HEBBLETHWAITE, P. D. 1996. Effect of tannin content of faba bean (*Vicia faba*) seed on seed vigour, germination and field emergence. Annals Appl. Biol. 128: 85–93. doi:10.1111/j.1744-7348.1996.tb07092.x
- KANTOLIC, A.; JIMÉNEZ, P.; DE LA FUENTE, E. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja, pp 167–178. In: Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. SATORRE, E.; BENECH, A. R.; SLAFER, G.; DE LA FUENTE, E.; MIRALLES, D.; OTEGUI, M.; SAVIN, R. (eds.). Facultad de Agronomía Editor, Buenos Aires, Argentina.
- KATYAR, R. P.; SINGH, A. K. 1990. Path coefficient studies for

- yield and yield components in faba bean. *Fabis Newslett* 26: 3-5.
- MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; RIBAS, C. M.; GULÍAS, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas* 43: 63-84. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/176/17604304.pdf>
- MORALES, R. E.; DE LA O ÁVILA, H.; MORALES, R. A.; DE LA CRUZ, V. M. 2002. Evaluación de cinco genotipos de haba (*Vicia faba* L.) con seis niveles de fósforo en Tecámac, México. *Ciencia Ergo Sum* 9(2): 184-189. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/104/10402408.pdf>
- MUSALLAM, I. W.; AL-KARAKI, G.; EREIFEJ, K.; AL-TAWAHA, A. R. 2004. Yield and yield components of faba bean genotypes under rainfed and irrigation conditions. *Asian Journal Plant Sci.* 3(4): 439-448. <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/ajps/2004/439-448.pdf>
- NADAL, M. S.; MORENO M. T.; CUBERO J. I. 2001. Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Mundiprensa. Barcelona España, 318 p.
- NAVARRO G. H.; PÉREZ O. M. A.; CASTILLO G. F. 2007. Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(2): 151-157. <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/30-2/6a.pdf>
- PETERSSON, A.; THOMSON, M. H.; HAUGGAARD-NIELSED, H.; THOMSON, D. A. B. 2007. Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass and bioenergy* 31: 812-819. doi: 10.1016/j.biombioe.2007.06.001
- PICHARDO, R. J. C.; ESCALANTE, E. J. A.; RODRÍGUEZ, G. M.; SÁNCHEZ, G. P. 2007. Eficiencia agronómica del nitrógeno, en el uso del agua y de la radiación en el rendimiento del haba (*Vicia faba* L.) con aplicación dividida de nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 25(2): 145-154. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/573/57325206.pdf>
- PILBEAM C. J.; HEBBLETHWAITE, P. D.; RICKETTS, H. E.; HASSAN, O. A. 1990. Effects of autumn sowing dates on growth and yield of indeterminate and determinate field beans (*Vicia faba* L.). *Journal Agric. Sci. Cam.* 114: 339-352. doi: 10.1017/S0021859600072737
- ROBERTSON, L. D.; EL-SHERBEENY, M. 1988. Faba bean germplasm catalog pure line collection. ICARDA. Aleppo, Syria. pp: 44-45.
- ROJAS-TIEMPO, J.; DÍAZ-RUIZ, R.; ÁLVAREZ-GAXIOLA, F.; OCAMPO-MENDOZA, J.; ESCALANTE-ESTRADA, A. 2012. Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores en Puebla y Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(3): 35-49. <http://www.revistasinifap.org.mx/index.php/Agricolas/article/download/271/269>
- SATORRE, E.; BENECH, A. R.; SLAFER, G.; DE LA FUENTE, E.; MIRALLES, D.; OTEGUI, M.; SAVIN, R. 2003. Producción de granos: Bases funcionales para su manejo. Primera edición. Facultad de Agronomía Editor, Buenos Aires, Argentina. 783 p.
- SIEM D. S.; KONCZAK I.; AGBOOLA S.; WOOD J A.; BLANCHARD CH. L. 2012. In vitro investigations of the potential health benefits of Australian-grown faba beans (*Vicia faba* L.): chemopreventative capacity and inhibitory effects on the angiotensin-converting enzyme,  $\alpha$ -glucosidase and lipase. *British Journal of Nutrition*, 108, pp S123-S134. doi: 10.1017/S0007114512000803