

Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación*

Defoliation effect on yield in corn-bean intercropping

Rafael Delgado Martínez^{1§}, José Alberto Salvador Escalante Estrada¹, Ramón Díaz Ruíz², Antonio Trinidad Santos¹, Edgar Jesús Morales Rosales³ y Eliseo Sosa Montes⁴

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera Federal México-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. México. (delgado.rafael@colpos.mx; jasee@colpos.mx; trinidad@colpos.mx). ²Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla, km. 125.5, Puebla, Puebla. C. P. 72760. México. (dramon@colpos.mx). ³Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca - Ixtlahuaca entronque al Cerrillo km 15, Toluca, Estado de México. C. P. 50200. México. (ejmoralesr@uaemex.mx). ⁴Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. Estado de México. C. P. 56230. México. (eliseososa@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: delgado.rafael@colpos.mx.

Resumen

El rendimiento tanto de maíz y frijol en monocultivo está determinado por el genotipo y el ambiente. Sin embargo, la siembra asociada de estos cultivos puede incrementar la producción por unidad de área. No obstante, el efecto de competencia interespecifica donde el frijol es más afectado y que se asume al sombreado del maíz sobre el frijol ha sido poco atendido. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la defoliación del maíz sobre la biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento (RG) y componentes del frijol y maíz en asociación. El experimento fue conducido en Montecillo, México, durante los ciclos primavera verano de 2010 y 2011, con diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Los días a ocurrencia a las etapas fenológicas en frijol y maíz, fue similar entre tratamientos. La BT e IC así como el RG y componentes en frijol y maíz mostraron cambios significativos por efecto del año, defoliación e interacción año*defoliación. En frijol el RG más alto se observó en 2010 el cual superó 36% a 2011. En ambos años con la defoliación del estrato superior (DES) se logró el RG más alto y los más bajos correspondieron al

Abstract

Yield of both corn and beans in monoculture is determined by the genotype and the environment. However, the intercropping of these crops can increase production per unit area. None the less, the effect of interspecific competition where beans is the most affected and it is assumed that corn shading on bean has not been addressed properly. The objective of the study was to determine the effect of defoliation on corn on total biomass (BT), harvest index (IC), yield (RG) and intercropping components of beans and corn. The experiment was conducted in Montecillo, Mexico, during the spring-summer cycles of 2010 and 2011, with an experimental design of complete randomized block with four replications. On the occurrence of phenological stages in beans and corn, was similar between treatments. BT and IC, thus RG and intercropping components in beans and corn showed significant changes by effect of the year, defoliation and interaction year*defoliation. On beans the highest RG was observed in 2010, which exceeded 36% to 2011. In both years with the defoliation of the upper layer (DES) were achieved the highest RG and the lowest RG corresponded to the treatment without defoliation (SD).

* Recibido: enero de 2014
Aceptado: julio de 2014

tratamiento sin defoliación (SD). En maíz, el RG en 2010 fue superior 37% al de 2011. Los tratamientos defoliación total de láminas (DTP) y DES, provocaron un abatimiento del RG de 15%.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., biomasa, fenología.

Introducción

En México, la práctica de sembrar simultáneamente dos o más cultivos en la misma área de terreno y época, se realiza desde la época prehispánica. Cultivos como frijol y maíz coexisten principalmente bajo este agrosistema de asociación aunque en menor escala y principalmente por agricultores con menos de dos hectáreas. A diferencia de los monocultivos, este agrosistema ofrece mayores ventajas económicas, sociales y ambientales (Ogindo y Walker, 2005; Beddington, 2011). En sistemas asociados, se hace un mejor uso del suelo, agua, luz y nutrimentos, tanto en tiempo como en espacio (Francis, 1986; Willey, 1990).

Sin embargo, cuando se siembra bajo este arreglo existe una reducción en el rendimiento de una o ambas especies, debido a la competencia interespecífica. El frijol es el más afectado bajo este esquema con una reducción de 25% a 50% en relación al monocultivo (Francis, 1989). Por otra parte, Morales *et al.* (2006); Díaz *et al.* (2010) reportan que el rendimiento del frijol se redujo 48% y 68%, respectivamente cuando se asoció con girasol. Se asume que bajo condiciones no limitantes de agua y nutrimentos, la reducción en el rendimiento del frijol se debe al sombreado ocasionado por el maíz, que puede limitar una mayor expresión del número de granos y consecuentemente del rendimiento (Escalante *et al.*, 1980; Fageria *et al.*, 2010). Las investigaciones sobre este tema requieren mayor atención. Así, los objetivos del presente estudio fueron determinar y cuantificar en la asociación maíz-frijol: a) si el sombreado del maíz limita la expresión de los componentes y en consecuencia el rendimiento del frijol; b) el estrato del dosel del maíz que más afecta los componentes del rendimiento del frijol; y c) el efecto de la defoliación sobre los componentes del rendimiento del maíz.

In corn, RG in 2010 was 37% higher than in 2011. Total defoliation of sheets treatments (DTP) and DES caused a reduction in RG of 15%.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., biomass, phenology.

Introduction

In Mexico, the practice of intercropping two or more crops on the same land area and period has been made from pre-Hispanic times. Crops such as corn and beans coexist under this agroecosystem partnership, although on a smaller scale and mainly farmers with less than two hectares. Unlike monoculture, this agroecosystem offers greater economic, social and environmental benefits (Ogindo and Walker, 2005; Beddington, 2011). Intercropping systems make better use of soil, water, light and nutrients, both in time and space (Francis, 1986; Willey, 1990).

However, when planted under this arrangement there is a reduction in yield of one or both species, due to interspecific competition. Beans are the most affected under this arrangement with a reduction of 25% to 50% compared to monoculture (Francis, 1989). Moreover, Morales *et al.* (2006); Díaz *et al.* (2010) reported that bean yield was reduced 48% and 68%, respectively, when intercropped with sunflower. It is assumed that under non-limiting water and nutrient conditions, the reduction in bean yield is due to shading caused by corn, which can limit a higher expression of grain number and consequently yield (Escalante *et al.*, 1980; Fageria *et al.*, 2010). Research on this issue requires further attention. Thus, the objectives of this study were to determine and quantify the intercropping of corn-bean: a) if corn shading limits the expression of components and consequently bean yield; b) the corn canopy layer that affects most yield components of beans; and c) the effect of defoliation on yield components of corn.

Materials and methods

The study was conducted in the experimental field of the Postgraduate College of Agricultural Sciences, Montecillo, State of Mexico, Mexico located at 19° 28' north latitude;

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México, México ubicado a 19° 28' latitud norte; 98° 53' longitud oeste, y 2 250 m de altitud, bajo condiciones de lluvia estacional, durante los años 2010 y 2011. El clima de la región, es el menos seco de los áridos con lluvias de Junio a Septiembre, temperatura media anual mayor a 18 °C y menor a 27 °C, periodo libre de heladas promedio de 170 días (BS₁, García, 2005). El suelo es de textura arcillo-limosa, medianamente alcalino (pH de 7.8), conductividad eléctrica de 1.7 dSm⁻¹ (sin problemas de salinidad). Respecto a las propiedades químicas, el contenido de materia orgánica es alto con 3.4% y también el de nitrógeno total con 0.158 %.

La siembra se realizó el 25 y 17 de mayo de 2010 y 2011 respectivamente. En ambos años, se usó frijol de grano color negro, cv. Hav-14, con potencial ejotero de hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV), y maíz azul var. San Miguelito de la raza Chalqueño, colocándose dos semillas de frijol y una de maíz por golpe, con un arreglo topológico (0.25 * 0.25 * 0.8 m) dando una densidad de población de 5 plantas m⁻². La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5m de longitud con orientación este a oeste, los dos surcos centrales se utilizaron como parcela útil. Se fertilizó con 100 kg N ha⁻¹ (urea, 46% N), 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato de calcio triple, 46% P) y 100 kg ha⁻¹ K₂O (sulfato de potasio, 60% K), aplicando la mitad de N y todo el P y K al momento de la siembra, el resto del N a los 35 días después de la siembra (dds).

Se aplicó una punta de riego, para evitar que el cultivo entrara en estrés hídrico durante las primeras etapas de crecimiento del cultivo. El manejo de arvenses fue de manera manual. En cada año de estudio, los tratamientos se realizaron en la fase de prefloración en maíz y consistió, en la defoliación de 30% del total de hojas (90.5 dm⁻² aproximadamente) a partir de la base del tallo en los tres estratos: a) inferior (DEI); b) medio (DEM); c) superior (DES); d) defoliación total de láminas (DTP); y e) un testigo sin defoliación (SD). El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con arreglo factorial y se evaluó bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + \beta_k + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

98° 53' west longitude, 2 250 m altitude, under conditions of seasonal rainfall during 2010 and 2011. Climate of the region is the least dry of arid with rains from June to September, mean annual temperature higher than 18 °C and lower than 27 °C, average frost-free period of 170 days (BS₁, García, 2005). The soil is clay loam, moderately alkaline (pH 7.8), and electrical conductivity of 1.7 dS m⁻¹ (no salinity problems). Regarding the chemical properties, organic matter is high with 3.4% and total nitrogen 0.158%.

Sowing was done on May 25 and 17 from 2010 and 2011 respectively. In both years beans black color, cv. Hav-14, with green bean potential with climbing indeterminate growth habit (Type IV), and blue corn var. San Miguelito of the Chalqueño race, placing two seeds of beans and corn, with a topological arrangement (0.25 * 0.25 * 0.8 m), giving a population density of 5 plants m⁻². The experimental unit consisted of four rows 5 m long with orientation from east to west; the two central rows were used as useful plot. It was fertilized with 100 kg N ha⁻¹ (urea, 46% N), 100 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (triple superphosphate, 46% P) and 100 kg ha⁻¹ K₂O (potassium sulphate, 60% K) applying half of N and all the P and K at planting time, the rest of the N at 35 days after sowing (das).

A light irrigation was applied to prevent the crop of entering into drought stress during the early stages of crop growth. Weed control was made manually. In each year of study, treatments were made in corn in the pre-flowering stage and consisted on defoliating 30% of all leaves (approximately 90.5 dm⁻²) from the base of the stem in three layers: a) lower (DEI); b) medium (DEM); c) higher (DES); d) Total defoliation of sheets (DTP); and e) a control without defoliation (SD). The experimental design was a randomized complete block with four replications, with factorial arrangement and evaluated under the following model:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + \beta_k + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Where: Y_{ijk}, is the response variable is of ith A level (layer of defoliation); in the ith B level (year of study) in the j-th block; μ is the overall mean; A_i is the effect of the ith layer of defoliation; B_j, is the effect of the jth year of study; β_k is the effect of the k-th block or replication; (AB)_{ij} is the effect of the interaction of the ith layer of defoliation, in

Donde: Y_{ijk} , es la variable respuesta del i -ésimo nivel A (estrato de defoliación); en el i -ésimo nivel B (año de estudio) en el j -ésimo bloque; μ , es la media general; A_i , es el efecto del i -ésimo estrato de defoliación; B_j , es el efecto del j -ésimo año de estudio; β_k , es el efecto del k -ésimo bloque o repetición; $(AB)_{ij}$, es el efecto de la interacción del i -ésimo estrato de defoliación, en la j -ésimo año de estudio; ϵ_{ijk} , es el error experimental del i -ésimo estrato de defoliación, en el j -ésimo año de estudio en el k -ésimo bloque o repetición.

Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) máxima ($T_{\text{máx}}$) y mínima ($T_{\text{mín}}$) promedio decenal, precipitación (PP, mm) y evaporación (Ev, mm) total decenal, los cuales se obtuvieron de la estación agrometeorológica del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Además, los días a ocurrencia de las fases fenológicas como: emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) para frijol, se tomaron de acuerdo a los criterios presentados en Escalante y Kohashi (1993), mientras que para maíz, los días a: emergencia (E), floración (R1) y madurez fisiológica (R6) según en Hanway (1963).

A la cosecha en frijol se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m^{-2}), y sus componentes como: número de vainas m^{-2} (NV); número de granos por vaina (GV); peso de 100 granos (PCG); número de granos m^{-2} (NG), biomasa (MS total; g m^{-2} , BT); índice de cosecha (IC) con la relación $\text{IC} = \text{RG} / \text{BT}$. En maíz se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m^{-2}); número de hileras (NH); número de granos por hilera (NGH); longitud de mazorca (LM); diámetro de mazorca (DM); peso de 100 granos (PCG); número de granos m^{-2} (NG); biomasa (MS total; g m^{-2} , BT), índice de cosecha (IC) con la relación $\text{IC} = \text{RG} / \text{BT}$. A los datos de las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza combinando años x defoliación mediante el programa SAS 9.3 (2011) y la prueba de comparación de medias de tratamientos Tukey $\alpha = 0.05$.

Resultados y discusión

Fenología y elementos del clima

En las Figuras 1 (2010) y 2 (2011), se presenta los días a ocurrencia de las fases fenológicas, durante el desarrollo del experimento, el promedio decenal de temperatura máxima, mínima y total decenal de la precipitación, y evaporación.

the j th year study; ϵ_{ijk} , is the experimental error of the i th layer of defoliation, in the j -th year of study at the k -th block or replication.

During the growing season were recorded the decennial average of maximum ($^{\circ}\text{C}$) (T_{max}) and minimum (T_{min}) temperature, precipitation (PP, mm) and decennial evaporation (Ev, mm), which were obtained from the agro meteorological station of the Postgraduate College in Agricultural Sciences. In addition, the occurrence days of phenological stages as: emergency (E), flowering (R6) and physiological maturity (R9) for beans, were recorded according to the criteria presented in Escalante and Kohashi (1993), and for corn days to: Emergence (E), flowering (R1) and physiological maturity (R6) according to Hanway (1963).

At bean harvest, grain yield (RG, 10% humidity, g m^{-2}) and its components were evaluated: number of pods m^{-2} (NV); number of grains per pod (GV); 100 grain weight (PCG); number of grains m^{-2} (NG), biomass (total MS; g m^{-2} , BT); harvest index (IC) with the expression $\text{IC} = \text{RG} / \text{BT}$. In maize grain yield (RG, 10% humidity, g m^{-2}); number of rows (NH); number of kernels per row (NGH); ear length (LM); ear diameter (DM); 100 grains weight (PCG); grain number m^{-2} (NG); biomass (total MS g m^{-2} , BT), harvest index (IC) with the expression $\text{IC} = \text{RG} / \text{BT}$. The data was analyzed through an analysis of variance combining years * defoliation using SAS 9.3 (2011) and means comparison of treatments with Tukey $\alpha = 0.05$.

Results and discussion

Phenology and climate elements

Figures 1 (2010) and 2 (2011), show days to occurrence of phenological stages, the decennial average of maximum and minimum temperature and decennial precipitation and decennial evaporation during the development of the experiment.

2010

Days to occurrence of phenological stages were similar between treatments in corn and beans. In bean, the emergence (VE) was at 9 days after planting (dds), R6

2010

Tanto en maíz como en frijol los días a ocurrencia de las fases fenológicas fue similar entre tratamientos. En frijol la emergencia (VE) fue a los 9 días después de la siembra (dds), la R6 a los 65 dds y la R9 a los 125 dds, tiempo similar al reportado en frijol de hábito de crecimiento indeterminado en asociación con girasol sin defoliación por Salinas *et al.* (2008); Díaz *et al.* (2010), para la región de Texcoco, México. En maíz, la emergencia fue a los 10 dds, la R1 a los 68 dds y la R6 a los 145 dds. En la Figura 1, se observó que durante la etapa vegetativa (EVG) y reproductiva (ER) del cultivo, la T_{máx} y T_{mín} promedio fue de 34 °C y 5 °C y de 27 °C y 8 °C, respectivamente.

ar 65 dds and R9 at 125 dds, similar time to that reported in “bean of indeterminate growth habit in association with sunflower without defoliation by Salinas *et al.* (2008); Díaz *et al.* (2010), for the region of Texcoco, Mexico. In corn, emergence was at 10 dds, R1 at 168 dds and R6 at 145 dds. In Figure 1, was observed that during the vegetative (EVG) and reproductive (ER) stage of the crop, the decennial average of T_{max} and T_{min} was 34 °C and 5 °C and from 27 °C and 8 °C respectively.

T_{max} was higher than optimum for bean that is reported from 25 °C to 27 °C (Masaya and White, 1991; Tadashi *et al.*, 2003), which might have limited a higher expression of growth and therefore grain yield. In corn, the highest

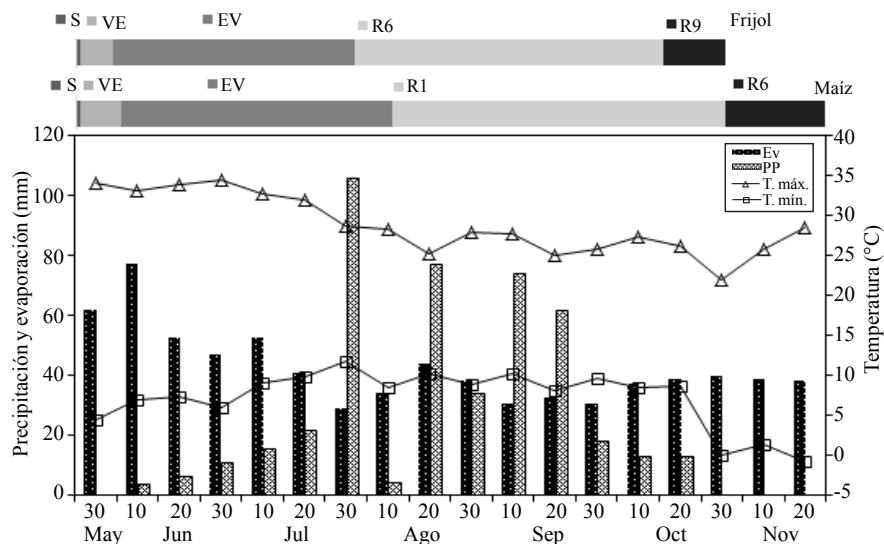


Figura 1. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T. máx.), mínima (T. mín.) durante el desarrollo del experimento. S= siembra frijol; VE= emergencia frijol, EV= etapa vegetativa; R6= floración frijol; R9= madurez fisiológica frijol; S= siembra maíz, VE= emergencia maíz; R1= floración maíz; R6= madurez fisiológica maíz. 2010.

Figure 1. Phenology, decennial sum of precipitation (PP) and evaporation (Ev), decennial average of the maximum (T max) and Minimum (T min) temperature during the development of the experiment. S= sowing beans; VE= bean emergence, EV= vegetative stage; R6= flowering; R9= physiological maturity; S= sowing corn, VE= corn emergence; R1= flowering; R6= physiological maturity. 2010.

La T_{máx} fue superior a la óptima para frijol que se reporta de 25°C a 27 °C (Masaya y White, 1991; Tadashi *et al.*, 2003), lo que pudo limitar una mayor expresión del crecimiento y por lo tanto el rendimiento de grano. En maíz, la T_{máx} más alta (35 °C) se observó durante las primeras etapas de crecimiento. En éste sentido, Tollenar *et al.* (1979); Ritchie y NeSmith (1991), mencionan que la temperatura alta favorece un mayor tamaño del dosel vegetal. Así mismo, la PP estacional fue de 462 mm, de la cual 35% ocurrió en la EVG y 65% en la ER, por lo que debido al prolongado período de altas temperaturas (35 °C), la escasa PP (170

T_{max} (35 °C) was observed during the early stages of growth. In this regard Tollenar *et al.* (1979), Ritchie and NeSmith (1991) mentioned that high temperatures favor a higher canopy size. Also, seasonal PP was 462 mm, of which 35% occurred in EVG and 65% in ER, so that due to the prolonged periods of high temperatures (35 °C), the scarce PP (170 mm) during the early stages of growth and the high rate of evaporation (higher than 50 mm) during this period generated a high water deficit on EVG (Figure 1), which assumes limited the size of the canopy in the cultures that form the intercropping agroecosystem.

mm) durante las primeras etapas de crecimiento y la elevada tasa de evaporación (mayor 50 mm), durante este periodo generó un elevado déficit hídrico durante la EVG (Figura 1), que se asume limitó el tamaño del dosel en los cultivos que conforman el agrosistema asociado.

2011

Como en 2010, los días a ocurrencia a las fases fenológicas de las especies en cuestión, fue similar entre tratamientos. Así la emergencia se presentó a los 8 y 10 dds, la R6 y R1 a los 60 y 65 dds y la R9 y R6 a los 120 y 140 dds para frijol y maíz respectivamente. Herrera *et al.* (2001) reportaron que la fenología no fue modificada por la siembra simultánea de frijol de guía y maíz. El rango decenal de la T_{máx} durante el ciclo del cultivo fue entre 25 °C y 35 °C y el de la T_{mín} entre -3 °C y 10 °C.

2011

As in 2010, the days to occurrence of the phenological stages of the species is study, were similar between treatments. So the emergence presented at 8 and 10 dds, R6 and R1 at 60 and 65 dds and R9 and R6 at 120 and 140 dds for beans and corn respectively. Herrera *et al.* (2001) reported that phenology was not modified by the simultaneous planting of green beans and corn. The decennial range of T_{máx} during the crop cycle was between 25 °C and 35 °C and T_{mín} between -3 °C and 10 °C.

Seasonal PP was 463 mm (25% during EVG and 75% in ER). The highest Ev (83 mm) occurred during EVG, which decreased as the growing season progressed. However, during most part of Ev, ER was higher than PP, indicating that the agroecosystem was subjected to a severe water

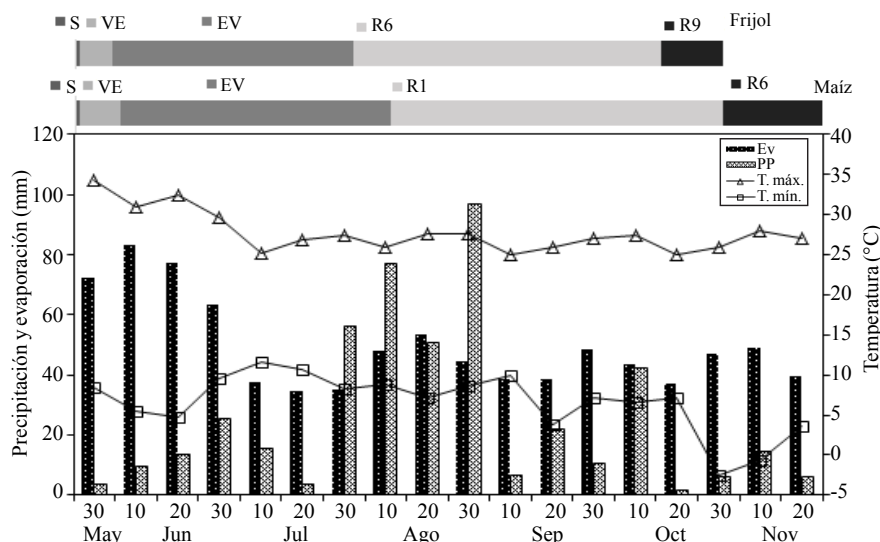


Figura 2. Fenología, suma decenal de la precipitación (PP) y evaporación (Ev), promedio decenal de la temperatura máxima (T. máx.), mínima (T. mín.) durante el desarrollo del experimento. S= siembra frijol; VE= emergencia frijol; EV= etapa vegetativa; R6= floración frijol; R9= madurez fisiológica frijol; S= siembra maíz, VE= emergencia maíz; R1= floración maíz; R6= madurez fisiológica maíz. 2011.

Figure 2. Phenology, decennial sum of precipitation (PP) and evaporation (Ev), decennial average of the maximum (T max) and Minimum (T min) temperature during the development of the experiment. S= sowing beans; VE= bean emergence; EV= vegetative stage; R6= flowering; R9= physiological maturity; S= sowing corn, VE= corn emergence; R1= flowering; R6= physiological maturity. 2011.

La PP estacional fue de 463 mm, (25% durante la EVG y 75% durante la ER). La mayor Ev (83 mm) ocurrió durante la EVG, la cual disminuyó conforme avanzaba el ciclo del cultivo. Sin embargo, durante mayor parte de la ER la Ev fue superior a la PP, lo que indica que el agrosistema estuvo sometido a un déficit hídrico severo, debido a la falta de agua durante esta etapa que pudo limitar el llenado de grano, y

deficit due to lack of water during this stage, which could limit grain filling and consequently limit yield of the two species, on the other hand, high temperatures usually affect adversely the synchronism between pollen and stigma, pollen viability, growth of the pollen tube and thus fecundation, therefore, it is also a factor which could limit yield (Tollenar *et al.*, 1979; Wallace, 1980). Meanwhile,

en consecuencia limitar el rendimiento de ambas especies asociadas, por otra parte, las altas temperaturas por lo general afectan negativamente la sincronía entre polen y estigma, viabilidad del polen, desarrollo del tubo polínico y en consecuencia la fecundación, por lo que, también es un factor que pudo limitar el rendimiento (Tollenar *et al.*, 1979; Wallace, 1980). Por su parte, Bowes *et al.* (1972) reportaron que los cambios en temperatura y precipitación tienen mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de la planta.

Biomasa e índice de cosecha en frijol

El análisis combinado de los años mostró con detalle el comportamiento del cultivo ante los tratamientos. La BT e IC mostraron cambios significativos por efecto del año, defoliación e interacción año*defoliación (Cuadro 1). La BT para 2010 fue de 441 g m⁻² y de 368 g m⁻² en 2011 (Cuadro 2). Una de las causas de dicho cambio, fue la variabilidad en la distribución de la PP (Escalante *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2010) ya que en 2010 la PP fue más alta en la EVG, lo que pudo generar un mayor tamaño del dosel; es decir, una maquinaria fotosintética de mayor magnitud y en consecuencia una BT mayor que en 2011. En cuanto a la defoliación, la BT más alta (530 g m⁻²) se encontró en el tratamiento DES (Cuadro 2), lo que ocasionó que las hojas del frijol recibieran mayor radiación solar, y en consecuencia la actividad fotosintética y la acumulación de BT fuera más alta (Monteith y Unsworth, 1990; Tsubo y Walker, 2004). La BT más baja (256 g m⁻²) se encontró con DTP, probablemente debido a un efecto de fotoinhibición sobre el frijol, por un exceso de radiación incidente sobre el dosel, que posiblemente limitó la fotosíntesis y una mayor translocación de asimilados hacia el grano (Bielenberg *et al.*, 2003; Pastenes *et al.*, 2004).

Bowes *et al.* (1972) reported that changes in temperature and precipitation have more influence on the growth and development of the plant.

Biomass and harvest index of bean

The combined analysis of the years showed in detail the behavior of the crop against the treatments. BT and IC showed significant changes by effect of the year, defoliation and interaction year* defoliation (Table 1). BT for 2010 was 441 g m⁻² and 368 g m⁻² in 2011 (Table 2). One cause of this change was the variability in the distribution of PP (Escalante *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2010) since in 2010 PP was higher in EVG, which could generate a greater size of the canopy; i.e. a photosynthetic machinery of higher magnitude and consequently a greater BT than in 2011. Regarding defoliation, the highest BT (530 g m⁻²) was found in the DES treatment (Table 2), causing bean leaves to receive higher solar radiation and consequently the photosynthetic activity and the accumulation of BT was higher (Monteith and Unsworth, 1990; Tsubo and Walker, 2004). The lowest BT (256 g m⁻²) was found with DTP, probably due to an effect of photo inhibition on bean, by an excess of incident radiation on the canopy, which possibly limited photosynthesis and a greater translocation of assimilates to the grain (Bielenberg *et al.*, 2003; Pastenes *et al.*, 2004).

Regarding the interaction A*D, with the combination 2010*DES, was achieved the highest BT (527 g m⁻²); followed by treatments 2010*SD, 2011*DES and 2011*SD with 18% and 13% respectively lower than the highest (Table 3). The lowest values corresponded to the DTP treatments in both years. Note that in each year the highest BT was obtained with DES treatment. In this

Cuadro 1. Análisis de varianza de la biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función del año, defoliación y su interacción, en siembra asociada con maíz.

Table 1. Analysis of variance of total biomass, harvest index, yield components and bean yield in function of year, defoliation and their interaction, in association with corn.

	BT	IC	NV	GV	PCG	NG	RG
Año (A)	**	**	**	ns	**	**	**
Defo (D)	**	**	**	**	**	**	**
A*D	**	**	**	ns	**	**	**
CV%	5.7	10.9	14.0	15.5	4.7	17.6	9.3

ns*: **= no significativo y significativo a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. CV= coeficiente de variación. BT= biomasa total; IC= índice de cosecha; NV= número de vainas; NG= número de granos por vaina; PCG= peso de 100 granos; NG= número de granos m⁻²; RG: rendimiento de grano.

Cuadro 2. Biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función del año y defoliación en siembra asociada con maíz.

Table 2. Total biomass, harvest index, yield components and bean yield in function of year and defoliation, in association with corn.

	BT g m ⁻²	IC (%)	NV m ⁻²	GV	PCG g	NG m ⁻²	RG g m ⁻²
2010	441a	42 ^a	159b	6a	32.3b	1 068b	184a
2011	368b	37b	184a	6a	34.4a	1 208a	135b
DEI	455b	33c	179b	6b	33.4a	1 084b	151c
DEM	328c	44 ^a	153b	7a	34.2a	1 074b	148c
DES	530a	41b	242a	7a	34.3a	1 681a	219a
DTP	256d	45 ^a	126c	6b	34.8a	743c	115d
SD	457b	35c	159b	7a	33.7a	1 109b	162b

^aValores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$). BT= biomasa total; IC= índice de cosecha; NV= número de vainas; NG= número de granos por vaina; PCG= peso de 100 granos; NG= número de granos m⁻²; RG= rendimiento de grano.

Respecto a, la interacción A*D, con la combinación 2010*DES se logró la mayor BT (527 g m⁻²); seguido de los tratamientos 2010*SD, 2011*DES y 2011*SD con 18% y 13% respectivamente inferior al más alto (Cuadro 3). Los valores más bajos correspondieron a los tratamientos DTP en ambos años. Cabe señalar que en cada año la mayor BT se obtuvo con el tratamiento DES. Al respecto, Tsubo y Walker (2004) también encontraron cambios en la BT en el maíz-frijol asociado con y sin sombreado y diferentes orientaciones de hilera. El IC más alto (42%) correspondió a 2010 en relación a 2011 (37%). Dicha respuesta puede estar relacionada con la PP más baja en la ER de 2011 que afectó la acumulación y distribución de fotosintatos hacia el grano. Muñoz *et al.* (2007) trabajando con genotipos de frijol reportan cambios en el IC debido a variaciones en la PP y cantidad de agua de riego de un año a otro.

En relación a la defoliación, el IC fue más alto en DTP y DEM (45 y 44% respectivamente), y más bajo con SD y DEI (35 y 33%, respectivamente). Esto indica que el sombreado generado por el dosel del maíz al frijol particularmente del estrato medio, limitó la distribución de MS hacia el grano. Respecto a la interacción, el IC más alto correspondió a los tratamientos 2010*DES y 2010*DEM. El IC más bajo se mostró en ambos años con el tratamiento SD (Cuadro 3). Esto indica que el sombreado ocasionado por el estrato foliar medio y superior del maíz, limita la distribución de materia seca hacia el grano del frijol.

Rendimiento de grano (RG) y sus componentes en frijol

El rendimiento en grano (RG) y sus componentes, excepto el GV, presentaron diferencias significativas por efecto de año, defoliación y la interacción año*defoliación (Cuadro 1). En

regard, Tsubo and Walker (2004) also found changes in BT in the intercropping of maize -bean with and without shade and with different row orientations. The highest IC (42%) corresponded to 2010 compared to 2011 (37%). This response may be related to the lowest PP in ER from 2011 that affected the accumulation and distribution of photosynthates to the grain. Muñoz *et al.* (2007) working with bean genotypes reported changes in IC due to variations in PP and amount of irrigation water from year to year.

In relation to defoliation, IC was higher in DTP and DEM (45 and 44% respectively) and lower with SD and DEI (35 and 33%, respectively). This indicates that the shade generated by the canopy of maize on beans particularly the middle stratum, limited the distribution of MS towards the grain. Regarding the interaction, the highest IC corresponded to the 2010*DES and 2010*DEM treatments. The lowest IC showed in both years with the SD treatment (Table 3). This indicates that the shade caused by the middle and upper layer of corn, limits the distribution of dry matter towards the grain of the bean.

Grain yield (RG) and its components in bean

Grain yield (RG) and its components; except GV showed significant differences by effect of year, defoliation and interaction year*defoliation (Table 1). Regarding the year factor, the highest RG was observed in 2010 which exceeded 36% to 2011 (Table 2). Such differences may be related to a lower PP during ER in 2011 (Figures 1 and 2). Regarding defoliation, DES achieved the highest RG (219 g m⁻²) and was 35% superior to SD (control) (162 g m⁻²), with a higher NV (242 m⁻²), NG (1681 m⁻²) and PCG (34.3 g). GV was the

relación al factor año, el RG más alto se observó en 2010 el cual superó 36% al de 2011 (Cuadro 2). Dichas diferencias pueden relacionarse con una menor PP durante la ER en 2011 (Figuras 1 y 2). Respecto a la defoliación, con la DES se logró el RG más alto (219 g m^{-2}) y fue superior 35% al SD (testigo) (162 g m^{-2}), con un mayor NV (242 m^{-2}), NG (1681 m^{-2}) y PCG (34.3 g). El GV fue el componente que no mostró cambios significativos por efecto de tratamientos (Cuadro 2). El GV ha sido uno de los componentes del RG más estable, ante la variación en los elementos del clima (Tanaka y Fujita, 1979; Escalante, 1995).

El RG más bajo se encontró en el tratamiento DTP. Esta respuesta sugiere que el sombreado del estrato superior del maíz hacia el frijol durante la ER limita el llenado del grano y en consecuencia el RG. De acuerdo con Gardiner y Craker (1981) éstos resultados indican que una mayor radiación interceptada por el dosel del frijol, se traduce en una mayor acumulación de MS y RG. En cuanto a la interacción año*defoliación (Cuadro 3) el RG más alto se logró con la combinación 2010*DES (269 g m^{-2}), seguido de 2011*DES y 2011*DEM. Asimismo, el RG más bajo se encontró con DTP, 36% menos, que el testigo sin defoliación (Cuadro 3).

Cuadro 3. Biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en frijol en función de la interacción año x defoliación en siembra asociada con maíz.

Table 3. Total biomass, harvest index, yield components and bean yield in function of the interaction year * defoliation, in association with corn.

Año	Defo	BT g m^{-2}	IC (%)	NV m^{-2}	GV	PCG g	NG m^{-2}	RG g m^{-2}
2010	DEI	429b	32c	128c	6a	33.2c	769d	138c
	DEM	382c	52a	177b	7a	32.8c	1 240b	200b
	DES	527a	51a	244a	7a	35.1b	1 705a	269a
	DTP	283d	44b	109d	6a	30.8d	654e	127c
	SD	488b	37c	139c	7a	29.8d	975c	185b
2011	DEI	412b	23d	158b	6a	32.0c	909c	97d
	DEM	373c	43b	229a	7a	35.0b	1 399b	164c
	DES	433b	43b	241a	7a	33.6c	1 657a	189b
	DTP	259d	39c	122c	6a	37.5a	833c	103d
	SD	426b	32c	179b	7a	33.9c	1 243b	140c

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$). BT= biomasa total; IC= índice de cosecha; NV= número de vainas; NG= número de granos por vaina; PCG= peso de 100 granos; NG= número de granos m^{-2} ; RG= rendimiento de grano.

Biomasa e índice de cosecha en maíz

La BT e IC mostraron cambios significativos entre años, defoliación e interacción año*defoliación (Cuadro 4). La BT de 2010 fue superior 45% a la de 2011, debido a que los elementos del clima fueron más favorables para el crecimiento del cultivo, particularmente la PP durante la

component that showed no significant changes as a result of treatments (Table 2). GV has been one of the most stable components of RG, before the variation in climate elements (Tanaka and Fujita, 1979; Escalante, 1995).

The lowest RG was found in the DTP treatment. This response suggests that the shading from the upper layer of corn to beans during ER, limits grain filling and consequently RG. According to Gardiner and Craker (1981), these results indicate that a higher intercepted radiation by the canopy of the beans, result in a greater accumulation of MS and RG. Regarding the interaction year*defoliation (Table 3) the highest RG was achieved with the combination 2010*DES (269 g m^{-2}) followed by 2011*DES and 2011*DEM. Also, the lowest RG was found in DTP, 36% less than the control with no defoliation (Table 3).

Biomass and harvest index in corn

BT and IC showed significant changes between years, defoliation and interaction year*defoliation (Table 4). The BT from 2010 was 45% superior to 2011 due to climate elements were more favorable for growth, particularly

PP during ER (Figure 1). Such response was also observed by Cirilo and Andrade (1996). Leaves removal on corn caused reductions in its BT. Thus, the reduction with DES treatment was 11%, with DEI 13% and with DEM 28% (Table 5), which may be due in part to the reduction of MS by the removed layer and to the reduction of photosynthetic activity of the plant, in this case to the higher percentage of

ER (Figura 1). Dichas respuesta también fue observada por Cirilo y Andrade (1996). La eliminación de hojas en maíz ocasionó reducciones en su BT. Así, dicha reducción con el tratamiento DES fue 11%, con DEI de 13%; y con DEM de 28% (Cuadro 5), lo que puede deberse en parte a la reducción de MS por el estrato foliar eliminado y a la reducción de la actividad fotosintética de la planta, en este caso al mayor porcentaje de laminas foliares eliminadas. La defoliación total (DTP) redujo 48% la producción de BT en relación a SD (Cuadro5). Pendleton y Hammond (1969); Rajcan *et al.* (1999) en estudios sobre defoliación de maíz, indican que el potencial fotosintético de las hojas del tercio superior es mayor que el del tercio medio e inferior.

removed layers. Total defoliation (DTP) decreased 48% the production of BT compared to SD (Cuadro5). Pendleton and Hammond (1969); Rajcan *et al.* (1999) in studies on corn defoliation indicate that the photosynthetic potential of leaves from the upper third is larger than the middle and lower third.

In relation to the interaction A*D, the SD treatment in both years had the highest BT, followed by DEI and the lowest value corresponded to SD in both years (Table 6). Regarding IC, corn from 2011 showed a higher IC (35%) compared to 2010 (29%) due to the greater availability of water as a result of higher PP during ER (Figure 2),

Cuadro 4. Análisis de varianza de la biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función del año, defoliación y su interacción, en siembra asociada con frijol.

Table 4. Analysis of variance of total biomass, harvest index, yield components and corn yield, in function of year, defoliation and their interaction, in association with bean.

	BT	IC	LM	DM	NH	NGH	PCG	NG	RG
Año (A)	**	**	**	**	ns	**	ns	**	**
TRAT (T)	**	**	**	**	ns	**	**	**	**
A*T	**	**	**	**	*	**	ns	**	**
CV %	12.2	5.6	4.2	4.9	8.5	16.5	9.6	18.4	16.5

ns,*,**= No significativo y significativo a una $p \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente. CV= coeficiente de variación. BT= biomasa total; IC= índice de cosecha; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NH= número de hileras; NGH= número de granos por hilera; PCG= peso de cien granos; NG= número de granos m^{-2} ; RG= rendimiento de grano.

Cuadro 5. Biomasa total, índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función del año y defoliación en siembra asociada con frijol.

Table 5. Total biomass, harvest index, yield components and corn yield in function of year, defoliation and their interaction, in association with bean.

	BT $g m^{-2}$	IC (%)	LM cm	DM cm	NH	NGH	PCG g	NG m^{-2}	RG $g m^{-2}$
2010	2 578a	29b	15.2a	4.7a	14a	32a	31.6a	2430a	768a
2011	1 415b	35 ^a	12.1b	4.1b	14a	24b	31.3a	1 546b	484b
DEI	2 187b	32b	14.3a	4.4a	14a	28a	32.4a	2027b	657a
DEM	1 794c	40 ^a	14.1a	4.5a	13a	30a	30b	2 280a	684a
DES	2 216b	28c	13.8a	4.5a	13a	29a	32.6a	1 730c	564b
DTP	1 285d	35b	12b	4.2b	13a	25b	28.6c	1 975b	565b
SD	2 502a	27c	14.0a	4.7a	14a	31a	33.6a	1 964b	660a

^aValores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$). CV= coeficiente de variación. BT= biomasa total; IC= índice de cosecha; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NH= número de hileras; NGH= número de granos por hilera; PCG= peso de cien granos; NG= número de granos m^{-2} ; RG= rendimiento de grano.

En relación, a la interacción A*D, el tratamiento SD en ambos años presentó la mayor BT, seguido de DEI y el valor más bajo correspondió a SD en ambos años (Cuadro 6). En relación al IC, el maíz de 2011 presentó un IC más alto (35%) en relación a 2010 (29%), debido a que la mayor disponibilidad de agua producto de una PP más alta durante

influenced for a higher distribution of MS towards grain. Regarding to defoliation, the DEM treatment presented the highest IC (40%), followed by DEI, DTP and the lowest corresponded to SD and DES with 27 and 28%, respectively. This response may be due to BT was lower in treatments where the leaves were removed, since the

la ER (Figura 2), influyó para una mayor distribución de MS hacia el grano. Respecto a la defoliación, el tratamiento DEM fue el que presentó el IC más alto (40%), seguido del DEI, DTP y los más bajos correspondieron a SD y DES con 27 y 28%, respectivamente. Dicha respuesta, se puede deber a que la BT fue más baja en los tratamientos donde se eliminó las hojas, puesto que el peso de la materia seca de estas no se incorporó al final y en consecuencia los IC fueron más altos. Respecto a la interacción el IC más alto se encontró con la combinación 2011*DEM, seguido de 2011*DEI y 2010*DTP, los IC más bajos correspondieron a 2011*DES y 2010*DES con 28% y 27%, respectivamente (Cuadro 6).

dry weight of these was not incorporated at the end and consequently IC were higher. Regarding the interaction the highest IC was found with the combination 2011*DEM, followed by 2011*DEI and 2010*DTP, the lowest IC corresponded to 2011 * DES and 2010*DES with 28% and 27%, respectively (Table 6).

Corn yield and its components

RG, NG, LM, DM and NGH showed significant changes by effect of year, defoliation and interaction A*D (Table 4). PCG showed significant differences only by

Cuadro 6. Biomasa total, Índice de cosecha, componentes del rendimiento y rendimiento en maíz en función de la interacción año x defoliación en siembra asociada con frijol.

Table 6. Total biomass, harvest index, yield components and corn yield, in function of year, defoliation and their interaction, in association with bean.

AÑO	TRAT	BT g m ⁻²	IC %	LM cm	DM cm	NH	NGH	PCG g	NG m ⁻²	RG g m ⁻²
2010	DEI	2 968a	25d	15.1a	4.6a	14a	31a	32.4a	2 370a	768a
	DEM	2 368b	34c	15.9a	4.7a	13b	34a	30b	2 710a	813a
	DES	2 843a	28d	15.2a	4.7a	14a	33a	32.6a	2 156b	703a
	DTP	1 589c	37b	15.3a	4.8a	14a	29b	29.2b	2 544a	743a
	SD	3 121a	23d	14.7b	4.8a	14a	34a	33.6a	2 413a	811a
2011	DEI	1 407c	39b	13.6b	4.4b	14a	25b	32.4a	1 685b	546b
	DEM	1 219d	45a	12.4b	4.4b	13b	25b	30b	1 850b	555b
	DES	1 589c	27d	12.5b	4.4b	13b	24b	32.6a	1 300c	424b
	DTP	980d	32c	8.8c	3.6c	13b	18c	28b	1 135c	318c
	SD	1 882b	31c	13.5b	4.6b	14a	27b	33.6a	1 714b	576b

^aValores con la misma letra son estadísticamente iguales, según Tukey ($p \leq 0.05$). CV= coeficiente de variación. BT= biomasa total; IC= índice de cosecha; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NH= número de hileras; NGH= número de granos por hilera; PCG= peso de cien granos; NG= número de granos m⁻²; RG= rendimiento de grano.

Rendimiento de maíz y sus componentes

El RG, NG, LM, DM y NGH mostraron cambios significativos por efecto de año, defoliación y la interacción A*D. (Cuadro 4). El PCG presentó diferencias significativas solamente por defoliación. En contraste, el NH no mostró cambios significativos por efecto de tratamiento (Cuadro 5). Respecto al factor año, debido a la mayor disponibilidad de agua durante el periodo de llenado de grano del maíz (Figura, 1), el RG de 2010 fue superior 37% a 2011. En relación, a la defoliación, la eliminación total de las hojas (DTP) y particularmente las de arriba de la mazorca (DES) provocaron un abatimiento en el NG, NGH, DM, LM y en el RG del maíz. Dicha reducción puede deberse a que las hojas arriba de la mazorca son las que más contribuyen al llenado del grano y las del estrato inferior

defoliation. In contrast, NH did not show significant changes by the effect of treatment (Table 5). Regarding the year factor, due to the increased availability of water during grain filling of corn (Figure 1), RG from 2010 was 37% higher to 2011. Regarding defoliation, the total removal of leaves (DTP) and particularly those above the ear (DES) caused a reduction in NG, NGH, DM, LM and RG of corn. This reduction may be due to the upper leaves of the ear are the main contributors to grain filling and the bottom ones particularly to the re distribution of photosynthate to the grain (Pommel *et al.*, 2006; Chauhan and Halima, 2003). NH was not affected by the treatments, indicating that it is a component of greater stability before environmental changes and leaf pruning (Subedi and Ma, 2005a; Subedi and Ma, 2005b).

particularmente con la redistribución de fotosintatos hacia el grano. (Pommel *et al.*, 2006; Chauhan y Halima, 2003). El NH no fue afectado por los tratamientos, lo que indica que es un componente de mayor estabilidad, ante cambios ambientales y poda foliar (Subedi y Ma, 2005a; Subedi y Ma, 2005b).

Conclusiones

En la asociación maíz-frijol la defoliación del maíz en prefloración afecta los componentes del rendimiento, rendimiento de grano, biomasa e índice de cosecha del frijol. El estrato superior del dosel del maíz es el que limita en mayor grado el número de vainas, número de granos y en consecuencia el rendimiento y la producción de biomasa del frijol. En maíz la reducción de la fuente de fotosintatos ocasiona una disminución en el número de granos y en el rendimiento.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

Literatura citada

- Beddington, J. 2011. Achieving food security in the face of climate change. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark. 3-7 pp.
- Bielenberg, D. G.; Miller, J. D. and Berg, V. S. 2003. Paraheliotropism in two *Phaseolus* species: combined effects of photon flux density and pulvinus temperature, and consequences for leaf gas exchange. *Environ. Exp. Bot.* 49:95-105.
- Bowes, G. W.; Ogren, L. and Hageman, R. H. 1972. Light saturation, photosynthesis rate, RuDP carboxylase activity, and specific leaf weight in soybeans grown under different light intensities. *Crop Sci.* 12:77-79.
- Chauhan, S. S. and Halima, H. 2003. Effect of rate of maize leaf defoliation at various growth stages on grain, stover yield components of maize and undersown forage production. *Indian J. Agric. Res.* 37:136-139.
- Cirilo, A. G. and Andrade, F. H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Sci.* 36:325-331.
- Díaz, L. E.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. T. y Gaytán, A. A. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 16:215-221.

Conclusions

Intercropping of maize-bean, the defoliation on corn in pre flowering affects yield components, grain yield, biomass, and harvest index of bean. The upper layer of corn canopy is the most limiting in pod number, grain number and consequently yield and biomass production of bean. In corn the reduction of photosynthate source causes a decrease in the number of grains and yield.

End of the English version



- Escalante, E. J. A.; Kohashi, S. J. y Gómez, R. O. B. 1980. Efecto del sombreado artificial en tres épocas a partir de la floración sobre el rendimiento en semillas y sus componentes del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia* 42:5-16.
- Escalante, E. J. A. y Kohashi, S. J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 84 p.
- Escalante, E. J. A. S. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad* 1:28-32.
- Escalante, E. J. A.; Escalante, L. E. y 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* 19:309-315.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C.; Moreira, A. and Portes, T. A. 2010. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *J. Plant Nut.* 33:2167-2181.
- Francis, C. A. 1986. Multiple cropping systems. Mac Millan, New York. 383 p.
- Francis, C. A. 1989. Biological efficiencies in multiple-cropping systems. *Advantages Agron.* 42 p.
- García, E. L. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª (Ed.). Universidad Autónoma de México (UNAM). D. F., México. 217 p.
- Gardiner, T. R. and Craker, L. E. 1981. Bean growth and light interception in a bean-maize intercrop. *Field Crop Res.* 43:13-320.
- Hanway, J. J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 55:487-492.
- Herrera, C. B. E.; Delgado, A. A. y Díaz, R. R. 2001. Asociación maíz-frijol de guía bajo temporal en Cuauhtinacán, Puebla, México. *Agric. Téc. Méx.* 27:153-161.
- Liu, Y.; Wang, E. L.; Yang, X. G. and Wang, J. 2010. Contributions of climatic and crop varietal changes to crop production in the North China Plain, since 1980s. *Global Change Biol.* 16:2287-2299.
- Masaya, P. and White, J. W. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In: Schoonhoven A. V., and O. Voysest (Eds.). *Common Beans: Research for Crop Improvement*. CAB. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. 445-500 pp.
- Monteith, J. L. and Unsworth, M. 1990. Principles of Environmental Physics, 2nd (Ed.). Edward Arnold, London. 73-78 pp.
- Morales, R. E.; Escalante, E. J. A.; Tijerina, L.; Volke, V. H. y Sosa, E. 2006. Biomasa, Rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra* 24:55-64.

- Muñoz, P. C.; Allen, R. G.; Westermann, D. T.; Wright, J. L. and Singh, S. P. 2007. Water use efficiency among dry bean landraces and cultivars in drought-stressed and non-stressed environments. *Euphytica* 155:393-402.
- Ogindo, H. O. and Walker, S. 2005. Comparison of measured changes in seasonal soil water content by rainfed maize-bean intercrop and component cropping in semi-arid region in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*. 30:799-808.
- Pastenes, C.; Porter, V.; Baginsky, C.; Horton, P. and González, J. 2004. Paraheliotropism can protect water-stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants against photoinhibition. *J. Plant Physiol.* 161:1315-1323.
- Pendleton, J. W.; and Hammond, J. J. 1969. Relative photosynthetic potential for grain yield of various leaf canopy levels of corn. *Agron. J.* 61:911-913.
- Pommel, B.; Gallais, A.; Coque, M.; Quillere, I.; Hirel, B.; Prioul, J. L.; Andrieu, B. and Floriot, M. 2006. Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. *Eur. J. Agron.* 24:203-211.
- Rajcan, I.; Dwyer, L. M. and Tollenaar, M. 1999. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentrations in maize during leaf senescence. *Field Crops Res.* 63:13-17.
- Ritchie, J. T. and NeSmith, D. S. 1991. Temperature and crop development. *In: Hanks, J. and Ritchie, J. T. (Ed.). Modeling plant and soil systems.* Agron. Monogr. 31. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. 5-29 pp.
- Salinas, R. N.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T. y Sosa, M. E. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:235-241.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS®9.3 Guide to Software Updates. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Subedi, K. D. and Ma, B. L. 2005a. Ear position, leaf area, and contribution of individual leaves to grain yield in conventional and leafy maize hybrids. *Crop Sci.* 45:2246-2257.
- Subedi, K. D. and Ma, B. L. 2005b. Nitrogen uptake and partitioning in stay green and leafy maize hybrids. *Crop Sci.* 45:740-747.
- Tadashi, T.; Yoshinobu, K.; Hiroyuki, T.; Katsumi, S. and Yoshinobu, E. 2003. Water status of flower buds and leaves as affected by high temperature in heat-tolerant and heat-sensitive cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Prod. Sci.* 6:24-27.
- Tanaka, A. and Fujita, K. 1979. Growth, photosynthesis and yield components in relation to grain yield of the field bean. *J. Faculty Agric. Hokkaido University* 59:145-238.
- Tollenaar, M.; Daynard, T. B. and Hunter, R. B. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Sci.* 19:363-366.
- Tsubo, M. and Walker, S. 2004. Shade Effects on *Phaseolus vulgaris* L. Intercropped with *Zea mays* L. under well-watered conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 190:168-176.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 61 p.
- Wallace, D. H. 1980. Adaptation of *Phaseolus* to different environments. *In: Summerfield, R. J.; Bunting, A. H. (Eds.). Advances in legume science.* Royal Botanic Garden, England. 349-357 pp.
- Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manag.* 17:215-231.