

Ecofisiología de seis variedades de frijol bajo las condiciones climáticas de la Región Lagunera*

Ecophysiology of six bean varieties under the weather conditions of the Lagunera region

Jorge Armando Chávez-Simental^{1§} y Vicente de Paul Alvarez-Reyna²

¹Instituto Tecnológico del Valle de Guadiana. Carretera Durango-México km 22.5 Durango, México. C. P. 34000. Tel. 01 618 8113152. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, Departamento de Riego y Drenaje. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera Santa Fe. Torreón, Coahuila. (vdpar_190754@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: jachs77@hotmail.com.

Resumen

En la problemática existente en la Comarca Lagunera sobre la disponibilidad de agua, es importante considerar cultivos alternos que se adapten a las condiciones climáticas de la región. Algunas variedades de frijol (*Phaseolus vulagris* L.) son susceptibles a sequía lo que limita el óptimo desarrollo del cultivo provocando bajo rendimiento. El objetivo de este trabajo fue determinar la tasa de fotosíntesis neta, tasa de transpiración, conductancia estomatal y rendimiento de seis variedades de frijol así como su adaptabilidad a las condiciones climáticas de la Comarca Lagunera. La investigación se realizó en el campo experimental de la UAAAN Unidad Laguna durante el ciclo de otoño-invierno de 2009 utilizando riego tradicional. Se midió la tasa de fotosintética, tasa de transpiración y conductancia estomatal con el equipo de medición “photosynthesis system CI 340®”. Además, se evaluó el rendimiento el cual fue correlacionado con las funciones fisiológicas antes mencionadas. La variedad que presentó el mayor rendimiento fue la Pinto Villa, la cual también mostró la mayor actividad fotosintética ubicándose dentro del grupo de genotipos con la conductancia estomatal más alta. Por otra parte, la variedad Pinto Mestizo obtuvo el segundo mejor rendimiento, aunque la actividad fisiológica de las variables estudiadas fueron las más bajas. Por lo tanto,

Abstract

In the current situation in the Comarca Lagunera regarding water availability, it is important to consider alternate crops that adapt to the area's weather conditions. Some bean varieties (*Phaseolus vulagris* L.) are susceptible to drought, which limits the optimum crop development, causing low yields. The main objective of this study was to determine the net photosynthesis rate, transpiration rate, stomatal conductance, and the yield of six bean varieties, as well as their adaptability to the weather conditions of the Comarca Lagunera. The research was conducted at the experimental station of the UAAAN Unidad Laguna, in the autumn-winter 2009 agricultural cycle, using traditional irrigation. The photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance were measured using the “photosynthesis system CI 340®”. We also evaluated the yield, which was correlated with the physiological functions measured. The variety that had the highest yield was the Pinto Villa, which also displayed the highest photosynthetic activity, ranking within the group of genotypes with highest stomatal conductance. On the other hand, the Pinto Mestizo variety had the second best yield, although physiological activity of the variables studied was the lowest. Therefore, the

* Recibido: agosto de 2011
Aceptado: enero de 2012

las variedades Pinto Villa y Pinto Mestizo fueron las que mejor adaptabilidad presentaron a las condiciones climáticas de la Región Lagunera.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., adaptabilidad climática, conductancia estomatal, fotosíntesis, transpiración.

Introducción

El estrés ambiental representa una fuerte restricción para el aumento de la productividad de los cultivos y el aprovechamiento de los recursos naturales. Se estima que sólo 10% de la superficie de la tierra arable se encuentra libre de algún tipo de estrés (Benavides, 2002). La república mexicana cuenta con una superficie de 1 millón 958 mil 201 km², de los cuales 52% corresponde a regiones áridas y semiáridas, con predominio de climas secos. No obstante en estas zonas se desarrollan importantes regiones agrícolas, donde se efectúa una parte considerable de la agricultura de riego y también se localiza extensa superficie de maíz y frijol de temporal como es el caso del altiplano mexicano (CONAZA, 1994). El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) ha sido y es uno de los productos básicos más importantes en el consumo humano. En México se cultiva principalmente en ambientes semi-tropicales, planicies semiáridas y en áreas irrigadas (Broughton *et al.*, 2003). En 2009 se cultivaron en promedio 1.7 millones de hectáreas de las cuales 13% se desarrolló en condiciones de riego obteniendo un rendimiento medio anual de 1.63 t ha⁻¹. El 87% restante se cultivó en condiciones de temporal donde el rendimiento fue muy variado, de 0.24 a 1.58 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2011). Más de 85% del área de temporal se establece durante el ciclo agrícola primavera-verano, donde la sequía intermitente es la principal limitante para su producción (Acosta *et al.*, 2000). Alrededor de 60% de la producción de frijol se da en regiones propensas a déficit de agua, donde los costos de riego y falta de precipitación son algunas de las mayores dificultades que enfrentan los productores (Castañeda *et al.*, 2006).

Particularmente en la Comarca Lagunera existe el problema de disponibilidad de agua; sin embargo, este cultivo ocupa una superficie superior a las 9 mil ha en condiciones de riego, dado que las condiciones climáticas de la región no permiten establecer el cultivo bajo condiciones de temporal. En 2009 se obtuvo una producción de más de 2 mil toneladas con un rendimiento promedio de 0.82 t ha⁻¹

Pinto Villa and Pinto Mestizo varieties presented the best adaptability to the weather conditions of the Lagunera region.

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., weather adaptability, stomatal conductance, photosynthesis, transpiration.

Introduction

Environmental stress is a strong restriction for the increase of the crops' productivity and the use of natural resources. It is estimated that only 10% of the arable land is under some type of stress (Benavides, 2002). Mexico has a surface of 1 958 000 km², out of which 52% is arid and semi-arid regions, with a predominance of dry weather. However, in these areas, important agricultural areas are developed, in which a considerable part of the irrigation agriculture is performed, and it is also in these areas in which we can find large surfaces of rainfed maize and beans, such as in the case of the Mexican highlands (Conaza, 1994). The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is and has been one of the most important staple products for human consumption. This crop in Mexico is planted mostly in semi-tropical environments, semi-arid flatlands and in irrigated areas (Broughton *et al.*, 2003). In 2009, an average of 1.7 million hectares were planted with beans, out of which 13% was developed under conditions of irrigation, which gave an annual average of 1.63 t ha⁻¹. The remaining 87% was grown under rainfed conditions, in which yield varied between 0.24 and 1.58 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2011). Over 85% of the rainfed area was established during the spring-summer agricultural cycle, in which intermittent drought is the main limitation for its production (Acosta *et al.*, 2000). Around 60% of the production of beans is in areas that are prone to water deficit, and in which costs of irrigation and scarce rainfall are some of the greatest difficulties faced by farmers (Castañeda *et al.*, 2006).

Particularly in the Comarca Lagunera, there is a water availability problem, although this crop occupies a surface higher than 9 thousand ha in irrigated conditions, since the area's weather conditions do not permit the establishment of the crop under rainfed conditions. In 2009, production was over 2 thousand tons, with an average yield of 0.82 ton ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2011). Some bean varieties are susceptible to droughts, which limits the optimum

(SIAP-SAGARPA, 2011). Algunas variedades de frijol son susceptibles a sequía, lo que limita el óptimo desarrollo del cultivo provocando bajo rendimiento. Debido a esto, se han realizado investigaciones buscando adaptar diversos genotipos de frijol silvestre y domesticado del género *Phaseolus* a condiciones ambientales en zonas específicas del país bajo riego y temporal, evaluando el comportamiento de variables fisiológicas que interactúan con el ambiente al que son sometidas así como su rendimiento (López *et al.*, 2005; Acosta *et al.*, 2009). Las plantas se enfrentan al compromiso de obtener CO₂ para mantener la fotosíntesis a través de los estomas donde se lleva a cabo el intercambio más importante de H₂O y CO₂, jugando la apertura estomática un papel crucial tanto en la transpiración como en la fotosíntesis foliar (Taiz and Zeiger, 2006).

Aunque el desarrollo de un cultivo es afectado por un grupo de factores ambientales, los de mayor impacto son la precipitación, radiación solar y temperatura (Wilson *et al.*, 1995). Temperaturas superiores a 30 ó 40 °C pueden afectar su tasa de crecimiento limitando su actividad fotosintética y aumentando su respiración (Ellis *et al.*, 1990; Lawlor, 2005; Morales *et al.*, 2006). El incremento de la temperatura por encima del nivel normal para el desarrollo de las plantas, puede provocar deformaciones en los órganos reproductores. Se ha observado la presencia de pistilos dobles y hasta triples en flores de *Prunus avium* L. sometidas a tratamientos con altas temperaturas (Beppu y Kataoka, 1999). También se ha encontrado que temperatura superior a 35 °C cada tres a cuatro días durante la división celular del endospermo puede reducir la masa del grano, maduración e incluso puede provocar abortos florales en el maíz (Commuri y Jones, 1999).

Por lo anterior y dadas las características climáticas de la Comarca Lagunera, es importante poner atención en las funciones fisiológicas como son la fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal, ya que están ligadas a la subsistencia y productividad del cultivo. Las variables climáticas definen las áreas de distribución, los límites de sobrevivencia y los pisos altitudinales de vegetación e influyen, a una escala menor, en la distribución de especies y comunidades (Cabrera, 2002). Una mejor adaptación de los genotipos de frijol a los diferentes tipos de estrés que puede enfrentarse, ayuda a la estabilidad y ampliación de la producción en entornos propensos a la sequía, por lo que requiere menos agua para el riego y, en consecuencia, contribuyen a la conservación del recurso natural (Rao, 2000).

development, causing low yields. Due to this, investigations have been carried out which try to adapt diverse genotypes of wild and home-grown beans of the genus *Phaseolus* under environmental conditions in specific areas of the country, under irrigation and rainfed, evaluating the behavior of physiological variables that interact with the environment they are subjected to, as well as their yield (López *et al.*, 2005; Acosta *et al.*, 2009). Plants must obtain CO₂ to maintain photosynthesis through the stomata, where the most important of H₂O and CO₂ takes place, and the opening of the stomata plays a crucial part, both in transpiration and in foliar photosynthesis (Taiz and Zeiger, 2006).

Although the growth of a crop is affected by a series of environmental factors, the ones that have the greatest impact are rainfall, sunlight and temperature (Wilson *et al.*, 1995). Temperatures higher than 30 or 40 °C can affect its growth rate, limiting its photosynthetic activity and increasing its respiration (Ellis *et al.*, 1990; Lawlor, 2005; Morales *et al.*, 2006). A temperature rise above the normal for plant development can cause malformations in the reproductive organs. The presence of double, and even triple pistils has been observed in *Prunus avium* L. flowers undergoing treatments with thightemperatures (Beppu and Kataoka, 1999). It has also been found that temperatures above 35 °C every three or four days during cellular division of the endosperm can reduce the mass of the grain, the maturity, and may even cause floral abortion in maize (Commuri and Jones, 1999).

Due to this, and given the weather conditions of the Comarca Lagunera, it is important to pay attention to the physiological functions such as photosynthesis, transpiration stomatal conductance, since they are related to the subsistence and productivity of the crop. Weather variables define the distribution areas, the limits of survival and the y los altitudinal grounds of vegetation, and they influence, on a smaller scale, the distribution of species and communities (Cabrera, 2002). A better adaptation of bean genotypes to different types of stress they could face helps stabilize and broaden the production in surroundings that are prone to droughts, therefore it requires less water for irrigation and consequently, contributes to the conservation of the natural resource (Rao, 2000).

Due to the above, the aim of this work was to determine the variation of the net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and yields of six bean varieties, as well as to evaluate its adaptability to weather conditions in the Comarca Lagunera.

Por lo anteriormente descrito, el objetivo de este trabajo fue determinar la variación de la tasa de fotosíntesis neta, tasa de transpiración, conductancia estomatal y rendimiento de seis variedades de frijol y evaluar su adaptabilidad a las condiciones climáticas de la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL) en el municipio de Torreón, Coahuila. La región conocida como Comarca Lagunera pertenece a la región hidrológica Núm. 36 donde los cultivos de temporal predominantes son el maíz (47.7%) y el frijol (35%) (Voisin y Orona, 1993). Esta región se localiza entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, y paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte con una altura media de 1 139 msnm y está conformada por 11 municipios del estado de Durango y 5 del estado de Coahuila. De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1973), el clima de la Comarca Lagunera es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica y precipitación pluvial promedio de 240 mm anuales; el periodo de lluvia comprende de mayo a septiembre donde ocurre 70% de la precipitación. En la mayor parte de la región se tiene una evaporación anual de 2 600 mm y una temperatura media de 20 °C (CNA, 2005). Sin embargo, durante la primavera y verano (de mayo a agosto) la temperatura oscila en los 40 °C, lo que causa estrés hídrico y térmico a los cultivos (López *et al.*, 2010).

Las mediciones se realizaron durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2009. El área experimental se conformó de 374.4 m² donde se trazaron 24 surcos de 0.65 m de separación y 24 m de longitud. Posteriormente se realizó la siembra en forma directa depositando seis semillas por metro lineal para obtener una densidad de población aproximada de 100 000 plantas por hectárea. Cada variedad se sembró en cuatro surcos repetidos en tres ocasiones.

Variedades de frijol evaluadas

Se evaluaron seis variedades de frijol tipo pinto con hábito de crecimiento indeterminado guía postrado, mismos que se tomaron como tratamientos irrigados mediante el sistema de riego tradicional; las variedades fueron: Pinto Villa, Pinto Nacional, Pinto Bayacora, Pinto Durango, Pinto Saltillo y Pinto Mestizo.

Materials and methods

Research was carried out in the experimental fields of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL) in the municipal area of Torreón, Coahuila. The area known as the Comarca Lagunera belongs to the hydrological region number 36, where the predominant rainfed crops are maize (47.7%) and beans (35%) (Voisin and Orona, 1993). This region is located between the meridians 102° 22' and 104° 47' longitude west, and parallels 24° 22' and 26° 23' latitude north, with an average altitude of 1 139 masl, and is made up of 11 municipal areas from the state of Durango and 5 from the state of Coahuila. According to Köppen's weather classification, modified by García (1973), the weather of the Comarca Lagunera is deserted with low atmospheric humidity and an average rainfall of 240 mm a year; the rainy season, in which 70% of all rainfall occurs, begins in May and ends in September. In most of the area, there is a yearly evaporation of 2,600 mm and an average rainfall of 20 °C (CNA, 2005). However, during the spring and summer (from May to August), temperatures tend to be in the 40 °C, which causes water and thermal stress for crops (López *et al.*, 2010).

Measurements were made during the 2009 autumn-winter agricultural cycle. The experimental area was made up of 374.4 m², in which 24 furrows were traced, with a separation of 0.65 m and 24 m in length. Later, sowing was performed in a direct manner, by placing six seeds per meter to obtain an approximate population density of 100 000 plants per hectare. Each variety was planted in four furrows, repeated three times.

Varieties of beans studied

Six varieties of pinto type beans with undetermined growth habit were evaluated, and taken as irrigated treatments, using traditional irrigation; the varieties were: Pinto Villa, Pinto Nacional, Pinto Bayacora, Pinto Durango, Pinto Saltillo and Pinto Mestizo.

Study variables

The photosynthetic rate was measured in units of $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, the transpiration rate was measured with units of $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and stomatal conductance in $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. These measurements were made using the handheld measuring

Variables de estudio

Se midió la tasa de fotosintética en unidades de $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, tasa de transpiración con unidades de $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y conductancia estomatal en $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Estas mediciones se realizaron utilizando el equipo de medición de mano “Photosynthesis System CI 340®” en un área foliar de 6.25 cm^2 . El rendimiento se midió pesando el producto por tratamiento en kg parcela^{-1} para posteriormente realizar su conversión a t ha^{-1} al final del experimento.

Metodología

Los datos de las variables fisiológicas fueron tomados en la tercera hoja del ápice hacia la base de la planta, con exposición directa de la luz solar. Las mediciones fueron realizadas en cuatro fechas a lo largo del ciclo agrícola del cultivo procurando un cielo despejado dentro de un horario de las 12:00 a las 16:00 h debido a que la actividad fotosintética, transpirativa y conductancia estomatal es más intensa en este periodo por la incidencia de la radiación solar e incremento de la temperatura. Las lecturas se tomaron durante la etapa de floración y madurez fisiológica a los 50, 69, 71 y 83 DDS. La cosecha se realizó en forma manual a madurez fisiológica de la planta a los 101 DDS, recolectando las vainas de los dos surcos centrales de cada unidad experimental de las mismas plantas donde se tomaron los datos de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomatal. El producto recolectado se trasladó al laboratorio de riego y drenaje de la UAAAN-UL para pesar las muestras y determinar el peso total por tratamiento.

Diseño experimental

La unidad experimental estuvo conformada por cuatro surcos de una longitud de 2.6 m por variedad. Los datos fueron tomados de los dos surcos centrales en cada variedad para disminuir el efecto de orilla. Los datos fueron analizados estadísticamente con el paquete computacional SAS versión 9.0. Los datos de las variables fisiológicas se analizaron bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial con tres repeticiones ($6 \times 4 \times 3$) donde los factores y niveles fueron los siguientes: factor A variedad. Niveles: Pinto Villa, Pinto Nacional, Pinto Bayacora, Pinto Durango, Pinto Saltillo y Pinto Mestizo. Factor B Fechas de toma de datos. Niveles; 50, 69, 71 y 83 días después de la siembra (DDS). Los datos de rendimiento se analizaron bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La comparación de medias se realizó con la prueba DMS (LSD en SAS) ($p \leq 0.05$).

unit “photosynthesis system CI 340®” in a foliar area of 6.25 cm^2 . Yield was measured by weighing the product per treatment in kg plot^{-1} to later convert it to t ha^{-1} at the end of the experiment.

Methodology

The physiological data were taken from the third leaf from the apex towards the base of the plant, with direct exposure to sunlight. Measurements were carried out in four dates throughout the crop's agricultural cycle, trying to find clear skies between 12:00 and 16:00 h, since photosynthetic and transpiration activity and stomatal conductance are more intense in this period due to incidence of sunlight and increase in temperature. Readings were taken during the flowering phase and physiological maturity at 50, 69, 71 and 83 DDS. Sowing was manual, during physiological maturity of the plant at 101 DDS, gathering the pods from the two central furrows of each experimental unit of the same plants from which data on photosynthesis, transpiration and stomatal conductance were taken. The product gathered was taken to the irrigation and drainage lab in the UAAAN-UL to weigh the samples and determine the total weight per treatment.

Experimental design

The experimental unit was made up of 4 furrows per unit, each one 2.6 m long. Data were taken from the two central furrows in each variety to reduce the effect of the edge. The data were analyzed statistically using SAS 9.0 computer package. The data of the physiological variables were analyzed under a random block design with a factorial arrangement with three repetitions ($6 \times 4 \times 3$), where the factors and levels were as follows: factor A variety. Levels: Pinto Villa, Pinto Nacional, Pinto Bayacora, Pinto Durango, Pinto Saltillo y Pinto Mestizo. Factor B Data taking dates. Levels; 50, 69, 71 and 83 days after sowing (DDS). The yield data were analyzed under a random block design with three repetitions. Averages were compared using the DMS test (LSD in SAS) ($p \leq 0.05$).

Results and discussion

The result of the statistical analysis carried out on the variables measured in this study showed a significant difference between the six varieties of pinto bean evaluated.

Resultados y discusión

El resultado del análisis estadístico realizado a las variables medidas en el estudio, mostró diferencia estadísticamente significativa entre las seis variedades de frijol pinto evaluadas.

Fotosíntesis neta (Pn)

Los valores de fotosíntesis neta (Pn) de las variedades Pinto Villa, Pinto Durango y Pinto Bayacora se comportaron de manera similar con 14.65, 14.46 y 13.48 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente. No obstante presentaron diferencia estadística frente a las variedades Pinto Nacional, Pinto Mestizo y Pinto Saltillo las cuales presentaron 10.22, 9.83 y 8.78 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Cuadro 1). Entre las fechas de muestreo hubo diferencia estadística sólo en la última fecha donde la cantidad de CO_2 que asimiló la planta fue muy baja debido a que se encontraba en la etapa de senescencia.

Net photosynthesis (Pn)

The net photosynthesis values (Pn) of varieties Pinto Villa, Pinto Durango and Pinto Bayacora behaved similarly with 14.65, 14.46 and 13.48 $\mu\text{mol of CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectively. However, the showed statistical differences with the varieties Pinto Nacional, Pinto Mestizo and Pinto Saltillo, which displayed 10.22, 9.83 and 8.78 $\mu\text{mol of CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectively (Table 1). There were statistical differences between sampling dates only in the las date, in which the amount of CO_2 assimilated by the plant was very low, since it was in the phase of senescence.

Figure 1 shows the behavior of CO_2 assimilation in bean plants, and we can notice a high point in photosynthetic activity between the flowering stage and physiological maturity (50 and 69 DDS). After 71 DDS, CO_2 assimilation begins to fall until it becomes practically null at 83 DDS before harvest. There is a broad relationship between DDS and net photosynthesis, which was found using a second

Cuadro 1. Fotosíntesis neta ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) de seis variedades de frijol común en la Región Lagunera UAAAN-UL, 2009. Table 1. Net photosynthesis ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) of six common bean varieties in the Lagunera region UAAAN-UL, 2009.

Variedad	DDS (fechas de muestreo)				Media
	50	69	71	83	
Pinto Villa	18.97	18.59	19.41	1.63	14.65 A
Pinto Nacional	16.83	13.16	7.92	2.96	10.22 B
Pinto Bayacora	19.33	16.64	15.64	2.32	13.48 A
Pinto Durango	18.23	17.72	19.50	2.39	14.46 A
Pinto Saltillo	10.10	13.50	10.71	0.82	8.78 B
Pinto Mestizo	8.07	17.07	13.44	0.76	9.78 B
Media	15.26 a	16.11 a	14.44 a	1.81 b	

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS $\alpha=0.05$); comparación de medias entre variedades (letras mayúsculas); comparación de medias entre fechas de muestreo (letras minúsculas).

En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la asimilación de CO_2 en las plantas de frijol, observándose un punto máximo en la actividad fotosintética entre la etapa de floración y maduración fisiológica (50 y 69 DDS); después de los 71 DDS la asimilación de CO_2 comienza a decrecer hasta ser prácticamente nula a los 83 DDS antes de la cosecha. Existe una estrecha relación entre los DDS y fotosíntesis neta, la cual se encontró mediante una ecuación polinómica de segundo orden con un coeficiente de correlación de 0.92, lo que indica una predicción confiable que permite estimar la cantidad de CO_2 que asimila la planta a lo largo de su ciclo vegetativo.

order polynomic equation with a correlation coefficient of 0.92, which indicates a reliable prediction that helps it estimate the amount of CO_2 the plant assimilates throughout its vegetative cycle.

Transpiration rate (E)

The transpiration rate generated in varieties Pinto Bayacora and Pinto Durango presented the highest values, with 4.65 and 4.52 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. These varieties were statistically equal to the varieties Pinto Villa y Pinto Nacional, which showed a high transpiration rate of 4.23 and

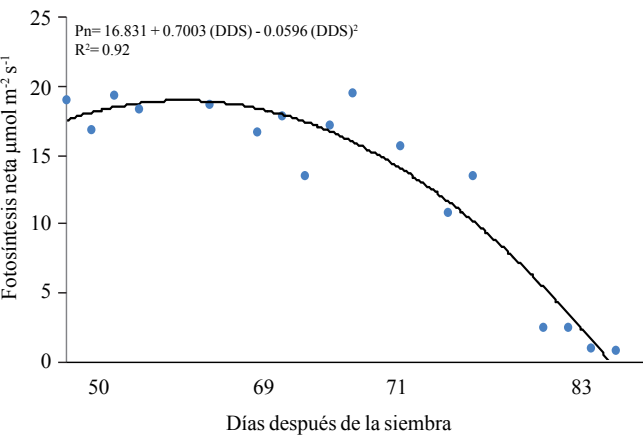


Figura 1. Relación entre los días después de la siembra y la fotosíntesis neta UAAAN-UL, 2009.
Figure 1. Relation between days after sowing and net photosynthesis UAAAN-UL, 2009.

Tasa de transpiración (E)

La tasa de transpiración que se generó en las variedades Pinto Bayacora y Pinto Durango mostraron los valores más altos con 4.65 y 4.52 mmol m⁻² s⁻¹. Estas variedades fueron estadísticamente iguales a las variedades Pinto Villa y Pinto Nacional, las cuales presentaron una tasa de transpiración de 4.23 y 3.81 mmol m⁻² s⁻¹; a la vez, éstas dos últimas variedades también presentaron igualdad estadística con las variedades Pinto Mestizo y Pinto Saltillo con 3.53 y 3.35 mmol m⁻² s⁻¹ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tasa de transpiración (mmol m⁻² s⁻¹) de seis variedades de frijol común en la Región Lagunera UAAAN-UL, 2009.
Table 2. Transpiration rate (mmol m⁻² s⁻¹) of six common bean varieties in the Lagunera region UAAAN-UL, 2009.

Variedad	DDS (fechas de muestreo)				Media
	50	69	71	83	
Pinto Villa	4.70	5.08	6.21	6.89	4.23 AB
Pinto Nacional	5.43	5.29	2.68	1.84	3.81 AB
Pinto Bayacora	5.10	5.48	6.61	1.39	4.65 A
Pinto Durango	5.17	4.85	6.15	1.90	4.52 A
Pinto Saltillo	3.97	4.80	3.80	0.82	3.35 B
Pinto Mestizo	2.43	4.63	5.16	1.91	3.53 B
Media	4.47 a	5.02 a	5.10 a	1.46 b	

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS α= 0.05); comparación de medias entre variedades (letras mayúsculas); comparación de medias entre fechas de muestreo (letras minúsculas).

El comportamiento de esta variable fue similar a la fotosíntesis neta. La relación entre los DDS y transpiración se muestra en la Figura 2; con la ecuación polinómica de segundo orden obtenida del análisis de regresión, es posible estimar la transpiración de las plantas de frijol con una

3.81 mmol m⁻² s⁻¹; these two varieties also showed statistical equality to varieties Pinto Mestizo and Pinto Saltillo with 3.53 and 3.35 mmol m⁻² s⁻¹ (Table 2).

The behavior of this variable was similar to that of net photosynthesis. The relationship between DDS and transpiration is shown in Figure 2; using the second order polynomial equation obtained from the regression analysis, we can calculate the transpiration of bean plants with a 76% reliability. However, at 71 DDS, unstable behavior appeared in transpiration, which reduced the correlation coefficient. The highest transpiration rate was noticed during the stages of flowering and physiological maturity (50 and 71 DDS), after which it began to fall, until values reached a minimum, at 83 DDS, like Pn.

Stomatal conductance (g.)

Stomatal conductance regulates the gaseous exchange between the plant and the atmosphere, and it is therefore directly related to photosynthesis and transpiration. However, this function is influenced by the temperature of the environment. The behavior of the stomatal conductance in the varieties Pinto Durango, Pinto Bayacora and Pinto Villa was similar, with no significant statistical difference, and the variety Pinto Durango standing out with 147.52, 139.23 and 136.48 mmol m⁻² s⁻¹ respectively. The varieties Pinto Nacional, Pinto Mestizo and Pinto Saltillo showed a lower stomatal conductance (105.55, 91.12 and

90.21 mmol m⁻² s⁻¹ respectively), resulting statistically equal between them, but different to the rest of the varieties. There was a distinct statistical difference between the dates data were taken, which showed a decreasing behavior as the DDS moved on.

confiabilidad de 76%. Sin embargo, a los 71 DDS se presentó un comportamiento inestable en la transpiración, lo que redujo el coeficiente de correlación. La tasa de transpiración máxima se observó durante las etapas de floración y madurez fisiológica (50 y 71 DDS), momento en el cual comenzó a disminuir hasta obtener valores mínimos a los 83 DDS al igual que la Pn.

Conductancia estomatal (g_s)

La Conductancia estomatal es la responsable de regular el intercambio gaseoso entre la planta y atmósfera, por lo que está directamente relacionada con la fotosíntesis y transpiración. Sin embargo, esta función fisiológica está influenciada por la temperatura del ambiente. El comportamiento de la conductancia estomatal en las variedades Pinto Durango, Pinto Bayacora y Pinto Villa fue similar sin presentar diferencia estadística significativa, destacando la variedad Pinto Durango con 147.52, 139.23 y 136.48 mmol m⁻² s⁻¹ respectivamente. Las variedades Pinto Nacional, Pinto Mestizo y Pinto Saltillo presentaron una conductancia estomatal menor (105.55, 91.12 y 90.21 mmol m⁻²s⁻¹ respectivamente) resultando estadísticamente iguales entre ellas pero diferentes al resto de las variedades. Hubo diferencia estadística marcada entre las fechas de la toma de datos, que mostró un comportamiento decreciente en función al incremento de los DDS.

Cuadro 3. Conductancia estomatal (mmol m⁻² s⁻¹) de seis variedades de frijol común en la Región Lagunera UAAAN-UL, 2009.

Table 3. Stomatal conductance (mmol m⁻² s⁻¹) of six common bean varieties in the Lagunera region UAAAN-UL, 2009.

Variedad	DDS (fechas de muestreo)				Media
	50	69	71	83	
Pinto Villa	174.03	175.64	182.50	13.76	136.48 A
Pinto Nacional	215.40	127.27	58.78	20.71	105.55 B
Pinto Bayacora	196.93	186.13	159.67	14.18	139.23 A
Pinto Durango	223.60	211.00	141.60	13.90	147.52 A
Pinto Saltillo	135.27	128.23	87.25	10.09	90.21 B
Pinto Mestizo	88.03	149.27	108.56	18.60	91.12 B
Media	172.21 a	162.92 a	123.06 b	15.21 c	

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS α= 0.05); comparación de medias entre variedades (letras mayúsculas); comparación de medias entre fechas de muestreo (letras minúsculas).

El análisis de regresión realizado a esta variable con respecto a los DDS, encontró una buena relación mediante una ecuación polinómica con un coeficiente de correlación 91% (Figura 3). Con la aplicación de la ecuación obtenida, es posible estimar la g_s en función de los DDS.

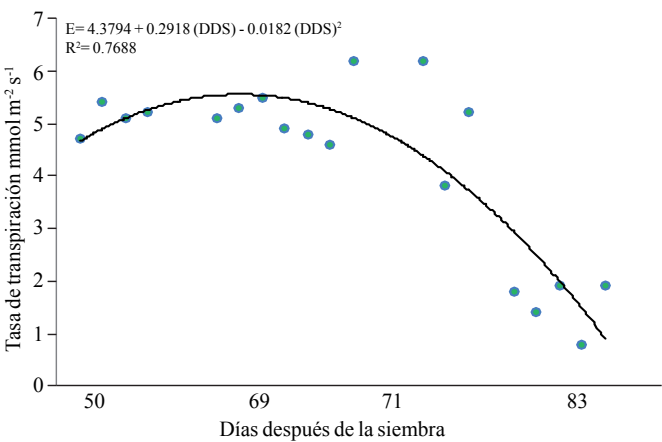


Figura 2. Relación entre los días después de la siembra y la tasa de transpiración UAAAN-UL, 2009.

Figure 2. Relation between days after planting and transpiration rate UAAAN-UL, 2009.

The regression analysis carried out on this variable with regard to DDS, found a good relation using a polynomic equation with a correlation coefficient of 91% (Figure 3). By applying the equation, it is possible to estimate g_s depending on the DDS.

On the other hand, we tried to relate g_s with photosynthesis and transpiration. The net photosynthesis values, as well as transpiration values, were adjusted to a second order polynomial value showing the broad relationship between

these two variables with stomatal conductance when obtaining a good correlation coefficient (0.96 and 0.83 respectively).

$$Pn = -0.9021 + 0.1756 (g_s) - 0.0004 (g_s)^2$$
$$E = 0.8878 + 0.0536 (g_s) - 0.0002 (g_s)^2$$

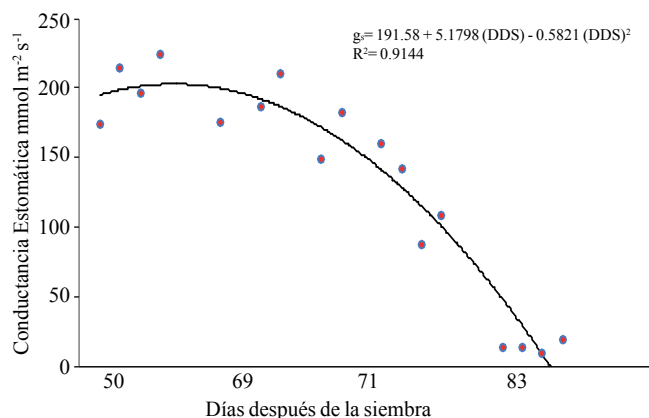


Figura 3. Relación entre días después de la siembra y conductancia estomática UAAAN-UL, 2009.

Figure 3. Relation between days after planting and stomatal conductance UAAAN-UL, 2009.

Por otra parte, se buscó relacionar la g_s con la fotosíntesis y la transpiración. Los valores de fotosíntesis neta al igual que la transpiración se ajustaron a un modelo polinomial de segundo orden mostrando la estrecha relación de estas dos variables con la conductancia estomatal al obtener un buen coeficiente de correlación (0.96 y 0.83 respectivamente).

$$P_n = -0.9021 + 0.1756 (g_s) - 0.0004 (g_s)^2$$

$$E = 0.8878 + 0.0536 (g_s) - 0.0002 (g_s)^2$$

Según las ecuaciones anteriores, tanto la fotosíntesis neta como la transpiración tendrán un punto máximo que será controlado por la apertura y cierre estomatal, que a su vez, dependerá de las condiciones climáticas como la humedad relativa y temperatura principalmente y contenido de humedad del suelo (Figura 4).

Rendimiento

En el Cuadro 4 se presenta la producción obtenida en las seis variedades de frijol evaluadas. El análisis estadístico encontró diferencia significativa entre variedades. Las variedades Pinto Villa y Pinto Mestizo presentaron el rendimiento más alto de 0.547 y 0.498 t ha⁻¹ respectivamente resultando estadísticamente iguales entre ellas. La variedad Pinto Nacional presentó una producción de 0.35 t ha⁻¹ estadísticamente igual a las variedades Pinto Bayacora con 0.310 t ha⁻¹ y Pinto Durango 0.312 t ha⁻¹; éstas dos últimas resultaron estadísticamente igual a la variedad Pinto Saltillo la cual presentó la producción más baja con 0.274 t ha⁻¹. Las variedades que obtuvieron el rendimiento más alto, superaron al reportado por el SIAP 2009 para el municipio de Torreón, el cual es de 0.38 t ha⁻¹.

According to the above equations, both net photosynthesis and transpiration will reach a high point, which will be controlled by the opening and closing of stomata, which, in turn, will depend on weather conditions such as relative humidity and temperature, mainly, and soil humidity (Figure 4).

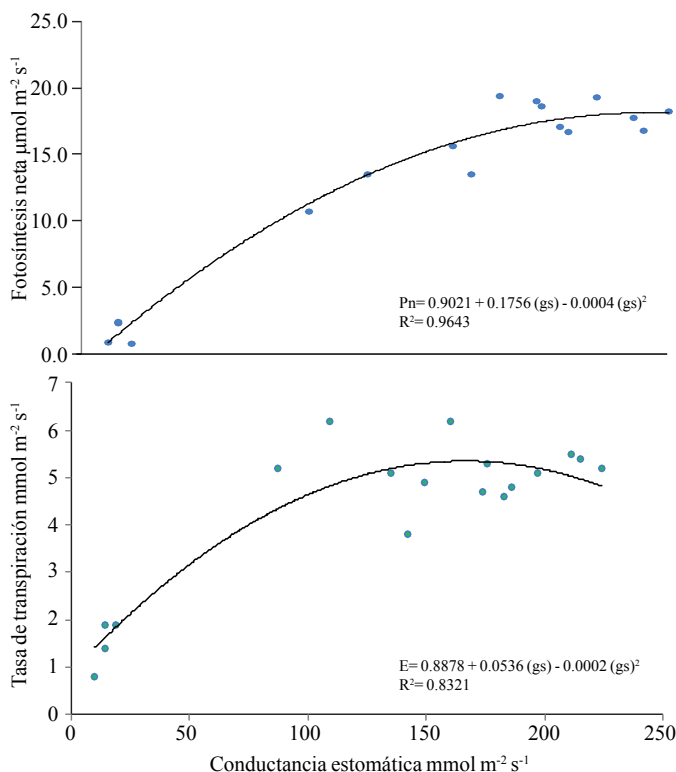


Figura 4. Relación de fotosíntesis neta y tasa de transpiración con la conductancia estomática UAAAN-UL, 2009.

Figure 4. Relation of net photosynthesis and transpiration rate with stomatal conductance UAAAN-UL, 2009.

Yield

Table 4 shows the production obtained in all six varieties of beans evaluated. The statistical analysis found a significant difference between varieties. Varieties Pinto Villa and Pinto Mestizo presented the highest yield, with 0.547 and 0.498 t ha⁻¹ respectively, which made them statistically equal. The variety Pinto Nacional showed a production of 0.35 t ha⁻¹, statistically equal to the varieties Pinto Bayacora, with 0.310 t ha⁻¹ and Pinto Durango, with 0.312 t ha⁻¹; the two latter resulted statistically equal to the variety Pinto Saltillo, which presented the lowest production, with 0.274 t ha⁻¹. The varieties with the highest yields, surpassed the yield reported by SIAP 2009 for the municipal area of Torreón, which is 0.38 t ha⁻¹.

Conclusiones

La actividad fotosintética, transpirativa y conductancia estomatal de las seis variedades de frijol se comportaron de manera diferente, sin embargo se encontró una estrecha relación entre ellas.

La variedad que obtuvo el mayor rendimiento fue la Pinto Villa, la cual también presentó la mayor actividad fotosintética y se ubicó dentro del grupo de genotipos con la conductancia estomática más alta, pero no así con la tasa de transpiración. Lo anterior puede atribuirse a que la variedad Pinto Villa transpiró en menor cantidad, lo que se tradujo en menor pérdida de agua y “no estrés hídrico” aprovechando al máximo la fotosíntesis, lo que se reflejó en el rendimiento.

La variedad Pinto Mestizo fue la segunda mejor en rendimiento aunque en los procesos fisiológicos de las variables medidas fue la que menor actividad presentó. Por lo tanto, estas dos variedades fueron las que presentaron mejor adaptabilidad a las condiciones climáticas de la Región Lagunera.

Cabe mencionar que el cultivo se manejó sin ningún tipo de fertilización, por lo que sería recomendable manejar un programa de nutrición para posteriores investigaciones, lo que pudiera reflejarse en mejores rendimientos y observarse un comportamiento diferente en las funciones fisiológicas de la planta.

Literatura citada

- Acosta, G. J. A.; Rosales, S. R.; Navarrete, M. R. y López, S. E. 2000. Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Rev. Agric. Téc. Méx.* 26(1):79-98.
- Acosta, D. E.; Acosta, G. J. A.; Trejo, L. C.; Padilla, R. J. S. and Amador, R. M. D. 2009. Adaptation traits in dry bean cultivars grown under drought stress. *Rev. Agric. Téc. Méx.* 35(4):416-425.
- Benavides, M. A. 2002. Ecofisiología y química del estrés en plantas. Departamento de agricultura UAAAN.
- Beppu, K. and Kataoka, I. 1999. High temperature rather than drought stress is responsible for the occurrence of double pistils in ‘Satohnishiki’ sweet cherry. *Scientia Horticulturae*. 81:125-134.

Cuadro 4. Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de seis variedades de frijol común en la Región Lagunera UAAAN-UL, 2009.

Table 4. Yield ($t\ ha^{-1}$) of six common bean varieties in the Lagunera region UAAAN-UL, 2009.

Variedad	Media
Pinto Villa	0.547 a
Pinto Nacional	0.345 b
Pinto Bayacora	0.310 bc
Pinto Durango	0.312 bc
Pinto Saltillo	0.274 c
Pinto Mestizo	0.498 a
Media	C.V. = 9.12%

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS $\alpha=0.05$).

Conclusions

The photosynthetic and transpiration activity and stomatal conductance of the six varieties of beans behaved differently, although a broad relation was found between them.

The variety with the highest yield was Pinto Villa, which also showed the highest photosynthetic activity and placed in the group of genotypes with the highest stomatal conductance, but with transpiration rate, this was not the case. This could be due to the variety Pinto Villa transpiring less, which translated into lower loss of water and “non-water stress” taking the fullest advantage of photosynthesis, which showed in the yield.

The variety Pinto Mestizo was second best in yield, although it showed the lowest activity in physiological processes of the variables measured. Therefore, these two varieties showed the least adaptability to weather conditions in the Lagunera area.

It is worth mentioning that the crop was handled with no fertilization whatsoever, hence it would be recommendable to consider a nutrition program for future research, which could later translate as better yields and a different behavior would show in the physiological functions of the plant.

End of the English version



- Broughton, W. J.; Hernández, G.; Blair, M.; Beebe, S.; Gepts, P. and Vanderleyden, J. 2003. Beans (*Phaseolus* spp.). Model food legumes. *Plant Soil*. 252:55-128.
- Cabrera, H. M. 2002. Respuestas ecofisiológicas de plantas en ecosistemas de zonas con clima mediterráneo y ambientes de alta montaña. *Revista Chilena de Historia Natural*. 75:625-637.
- Castañeda, S. M. C.; Córdova, T. L. y González, H. V. A. 2006. Respuestas fisiológicas, rendimiento y calidad de semilla en frijol sometido a estrés hídrico. INCI. (Online). 31(6):461-466.
- Comisión Nacional del Agua. (CNA). 2005 Gerencia regional. Cuencas centrales del norte. Subgerencia Regional Técnica y Administrativa del Agua. Torreón Coahuila, México.
- Commuri, P. D. and Jones, R. J. 1999. Ultrastructural characterization of maize (*Zea mays* L.) kernels exposed to high temperature during endosperm cell division. *Plant Cell Environ*. 22:375-385.
- Comisión Nacional de las Zonas Áridas (CONAZA). 1994. Plan de acción para combatir la desertificación en México, Sedesol-FAO, 1a. (ed.). 110 p.
- Ellis, R. H.; Hadley, P.; Roberts, E. H. and Summerfield, R. J. 1990. Quantitative relations between temperature and crop development and growth. *In*: Jackson, M. T.; Ford- Lloyd, B. V. and Parry, M. L. (eds). *Climatic change and plant genetics resources*. Belhaven Press, London. 85-115 pp.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Publicaciones UNAM. México, D. F.
- Lawlor, D. W. 2005. Plant responses to climate change: impacts and adaptation. *In*: Omasa, I. Nouchi, and De Kok, L. J. (eds). *Plant responses to air pollution and global change*. Springer-Verlag, K. Tokio. 81-88 pp.
- López, M. J. D.; Vázquez, V. C.; Salazar, S. E.; Salazar, M. E.; Zuñiga, T. R. and Trejo, E. H. I. 2010. Use of soil water content in deciding the sowing time in dry land agriculture. *J. Horticulture and Forestry*. 2(6):122-126.
- López, S. J. L.; Ruíz, C. J. A.; Sánchez, G. J. J. y López, I. R. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la república mexicana. *Rev. Fitotec. Mex*. 23(3):221-230.
- Morales, D.; Rodríguez, P.; Dell'Amico, J. A.; Torrecillas, A. y Sánchez, B. M. J. 2006. Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. CV. AMALIA). *Cultivos tropicales*. 27(1):45-48.
- Rao, I. 2000 Limitaciones edáficas y climáticas para la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Comité regional del Valle del Cauca. Cali. Colombia. 95-106 pp.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA). 2011. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2009. México. <http://siap.gob.mx>.
- Taiz, L. and Zeiger, 2006. *E. Plant Physiology*. 4th ed. Massachusetts: Sinauer Associates Inc., 83 p. ISBN-10:0878938567.
- Voisin, O. Y. y Orona, C. I. 1993. Agricultura de temporal. Estudio de los factores que influyen los escurrimientos y el uso del agua en la Región Hidrológica Núm. 36. SARH-INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango, México. 273-285 pp.
- Wilson, D. R.; Muchow, R. C. and Murgatoid, C. J. 1995. Model analysis of temperature and solar radiation limitations to maize potential productivity in cool climate. *Field Crops Res*. 43:1-18.