

## Comparación de las estructuras morfológicas en raíz e hipocótilo en frijol\*

### Comparison of morphological structures in bean root and hypocotyl

Edwin Javier Barrios-Gómez<sup>1§</sup>, Cándido López-Castañeda<sup>2</sup>, Josué Kohashi-Shibata<sup>2</sup>, Jorge Alberto Acosta-Gallegos<sup>3</sup>, Salvador Miranda-Colín<sup>2</sup>, Jaime Canul Ku<sup>1</sup> y Netzahualcóyotl Mayek-Pérez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Carretera Zacatepec-Galeana, km 0.5 Zacatepec, Mor. México. C. P. 62780. Tel. 01 734 3430230. Fax. 01 734 3433820. (canul.jaime@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Genética y <sup>3</sup>Botánica, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5 Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1587, 1318 y 1551. (clc@colpos.mx). (jkohashi@colpos.mx), (smiranda@colpos.mx). <sup>3</sup>Campo Experimental Bajío, INIFAP, carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Col. Roque, Celaya, Guanajuato, México. C. P. 38110. Tel. 01 461 6115326. Ext. 164. (acosta.jorge@inifap.gob.mx). <sup>4</sup>Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Boulevard del Maestro, s/n Esquina Elías Piña, Colonia Narciso Mendoza, Reynosa, Tamaulipas, México. C. P. 77810. Tel. 01 899 9243627. Ext. 7712 y 7742. (nmayek@ipn.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: barrios.edwin@inifap.gob.mx.

## Resumen

En el año 2006 se realizó un experimento, con el objetivo de determinar las diferencias en desarrollo de variedades contrastantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en su raíz y parte aérea de la plántula. Como se sabe los cultivares tolerantes a sequía tienen vasos de xilema de la raíz e hipocótilo de menor diámetro que los cultivares susceptibles a sequía, se utilizaron cinco materiales de frijol contrastantes, de hábito indeterminado tipo III, de los cuales se cosecharon plántulas a los 7, 11, 15, 19 y 23 días después de la siembra (dds); además, en la última cosecha de plántulas (23 dds), se tomaron ejemplares de raíz de aproximadamente 1 cm de longitud. Los cortes en la raíz principal se hicieron en tres posiciones; en la región nodal a 1 cm debajo del eje hipocótilo-raíz, en la parte media y a 1 cm del ápice de cada variedad. El cultivar tolerante a sequía (FM Corregidora) tuvo raíces y vasos de xilema de menor diámetro que el cultivar susceptible a sequía (FM RMC) y el criollo de bajo rendimiento (Michoacán 128). FM Corregidora mostró mayor longitud y peso seco total de raíces que FM RMC y Michoacán 128. Las raíces de FM Corregidora crecen a

## Abstract

In 2006 an experiment was conducted with the aim to determining the differences in development of contrasting varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) root and shoot of the seedling. As known, drought-tolerant cultivars have xylem vessels of the root and hypocotyl of smaller diameter than the cultivars susceptible to drought, using five contrasting beans, of indeterminate habit type III, from which seedlings were harvested at 7, 11, 15, 19 and 23 days after sowing (DAS); moreover, in the latest seedling harvest (23 DAS), root samples approximately 1 cm in length were taken. The cuts in the main root were made at three positions; in the nodal region, 1 cm below the hypocotyl-root axis, in the middle and, 1 cm from the apex of each variety. The drought-tolerant cultivar (FM Corregidora) had roots and xylem vessels of smaller diameter than the drought-susceptible cultivar (FM CMR) and low performance landrace (Michoacán 128). FM Corregidora showed greater length and total dry weight of the roots than FM CMR and Michoacán 128. FM Corregidora's roots grow faster than the other cultivars',

mayor velocidad que los demás cultivares, confiriéndole un mayor desarrollo en etapa de plántula. El diámetro del hipocótilo y la oquedad central es mayor en FM Corregidora y los cultivares de alto rendimiento (FJ Marcela y FM Bajío) que en el cultivar susceptible a sequía y el criollo. FM Corregidora, FJ Marcela, FM Bajío y FM RMC tienen corteza más gruesa y mayor número de vasos de xilema que Michoacán 128. El material tolerante a sequía (FM Corregidora) mostró raíces y vasos de xilema de menor diámetro que el cultivar susceptible a sequía (FM RMC) y la variedad criolla de bajo rendimiento (Michoacán 128).

**Palabras clave:** *Phaseolus vulgaris* L., transporte vascular, morfología de raíz e hipocótilo, desarrollo de raíz.

## Introducción

El xilema es el componente anatómico del sistema vascular de las plantas superiores, directamente involucrado en el movimiento del agua de la raíz a los diferentes órganos aéreos. La velocidad con que el agua se mueve a través del xilema hasta el área foliar de la planta, sobre todo cuando las plantas están sometidas a condiciones de estrés hídrico, depende de varios factores (Kaufmann *et al.*, 2009; Nardinia *et al.*, 2011); p.e., la densidad de raíces (cm de raíz/cm<sup>3</sup> de suelo) que determina la capacidad de extracción de agua del suelo adyacente a las raíces (Wilkinson, 2004; Zimmermann *et al.*, 2004), y el diámetro de los vasos de xilema y la resistencia longitudinal o axial al flujo de agua a través de los vasos del xilema que determina la velocidad con la que el agua se mueve a través del sistema vascular (Passioura, 1982; Salleo *et al.*, 1996). Otro factor importante en el movimiento del agua entre el suelo y la raíz es la interfase entre estos dos, p.e., la continuidad en el flujo de agua en el suelo acoplada a la resistencia hidráulica al flujo de agua en la raíz, que en condiciones de déficit hídrico del suelo, domina la velocidad de absorción del agua (Faiz y Weatherley, 1978). Por otro lado, el floema no merece menor importancia ya que es el principal actor en el movimiento de nutrientes y energía a los diferentes órganos de la planta (Dinant y Lemoine, 2010).

La raíz del frijol es tetrarca; el crecimiento primario de los vasos del xilema está compuesto de protoxilema (vasos pequeños e inmaduros en la conducción de agua) y metaxilema (vasos grandes, que conducen el agua), y el sistema radical está constituido por una raíz o eje principal (crece en forma vertical en el perfil del suelo), tiene un

giving a greater development in the seedling stage. The diameter of the hypocotyl and the central hole is greater in FM Corregidora and, the high-yielding cultivars (FJ Marcela and FM Bajío) than in the susceptible to drought and the landrace. FM Corregidora, FJ Marcela, FM Bajío and FM RMC have a thicker crust and a higher number of xylem vessels than Michoacán 128. Drought-tolerant material (FM Corregidora) showed roots and xylem vessels of smaller diameter than the drought-susceptible cultivar's (FM RMC) and low-yielding landrace's (Michoacán 128).

**Key words:** *Phaseolus vulgaris* L., root development, root and hypocotyl morphology, vascular transport.

## Introduction

The xylem is the anatomical component of the vascular system of the superior plants, directly involved in the movement of water from the roots to the different aerial organs. The rate at which water moves through the xylem to the leaf area of the plant, especially when the plants are under water stress conditions depends on several factors (Kaufmann *et al.*, 2009; Nardinia *et al.*, 2011); ex. root density (cm roots/cm<sup>3</sup> soil) that determines the ability for extracting water from the soil adjacent to the roots (Wilkinson, 2004; Zimmermann *et al.*, 2004), and the diameter of the vessels of the xylem and resistance to longitudinal or axial flow of water through the xylem vessels which determines the speed with which the water moves through the vascular system (Passioura, 1982; Salleo *et al.*, 1996). Another important factor in the movement of water between the soil and the roots is the interface between these two, ex. the continuity in the flow of water in the soil coupled with the hydraulic resistance to water flow in the root, which in conditions of water deficit in the soil dominates the water absorption rate (Faiz and Weatherley, 1978). On the other hand, the phloem is not worth less importance since it is the main actor in the movement of nutrients and energy to various plant's organs (Dinant and Lemoine, 2010).

Bean's root is tetrarch, the primary growth of the xylem vessels is composed of protoxylem (young and immature vessels in the water line) and metaxylem (larger vessels, which carry the water), and the root system consists of a

número variable de raíces basales, raíces adventicias que se originan del hipocótilo y raíces laterales que se originan en cada una de éstas categorías de raíces (Rubio y Lynch, 2007).

“La resistencia longitudinal al flujo de agua en las raíces principales puede influenciar la velocidad a la que el agua del subsuelo puede ser transportada por las raíces a través de una capa de suelo seco a los órganos aéreos de la planta y que este carácter está relacionado con el diámetro de los vasos del xilema en las raíces seminales en las plantas de trigo” (Passioura, 1982). Lawlor (1972) sugiere que las características de la planta y su ambiente aéreo dominan la velocidad de absorción del agua, a menos que el suelo esté tan seco que virtualmente no haya más humedad disponible. En lo que respecta al vástago, la detección de variedades de alto vigor inicial puede contribuir a realizar una mejor selección para condiciones adversas de crecimiento, aunque también se menciona que el vigor es una característica determinada por factores genéticos, pero influenciada por el ambiente (Anda y Pinter, 1994).

Leskovar y Stoffella, (1995) y Román-Avilés *et al.* (2004) indican que la detección de diferencias en el crecimiento y arquitectura de las raíces entre genotipos puede ofrecer posibilidades para selección a tolerancia a enfermedades en las raíces, sequía, inundación, mejor absorción de nutrientes, entre otros. Se ha observado que plantas de hábito I y II tienen una raíz principal más larga, en contraste con las variedades de hábito III. Sus raíces presentan un crecimiento mayor de raíces adventicias (Román-Avilés *et al.*, 2004).

Las raíces adventicias del frijol por definición son aquellas que se desarrollan del hipocótilo y pueden ser numerosas y de crecimiento horizontal (Leskovar y Stoffella, 1995). En maíz, Pérez de la Cerda *et al.* (2007), encuentra una alta relación ( $r=0.99$ ) entre características que confieren el vigor a la plántula y los componentes del rendimiento. Sin embargo, también se ha encontrado en maíz inconsistencia en correlaciones entre los caracteres de plántula y planta adulta (Ajala y Fakorede, 1988). La selección por caracteres anatómicos de la raíz, podría utilizarse en el mejoramiento de la resistencia a sequía al economizar humedad y lograr una utilización más eficaz de esta en condiciones de déficit hídrico del suelo. El objetivo del presente trabajo fue determinar las diferencias en desarrollo de variedades contrastantes de frijol en cuanto a su raíz y parte aérea en estado de plántula. Además si cultivares tolerantes a sequía tienen vasos de xilema de la raíz de menor diámetro y menor número de haces de xilema en el hipocótilo, que los cultivares susceptibles a sequía.

root or main shaft (grows vertically in the soil profile), with a variable number of basal roots, adventitious roots originating from the hypocotyl and lateral roots that originate in each of these categories of the roots (Rubio and Lynch, 2007).

“The longitudinal strength to the water flow in the main roots can influence the rate at which ground water may be transported through the roots via a layer of dry soil to the aerial parts of the plant and this character is related with the diameter of xylem vessels in the seminal roots in wheat plants” (Passioura, 1982). Lawlor (1972) suggests that, the characteristics of the plant and its air-ambient dominate the rate of absorption of water, unless the soil is so dry that virtually no more moisture is available. With respect to the stem, the detection of high initial vigor varieties can help to make a better selection for adverse growth conditions, but also mentions that, the force is a characteristic determined by genetic factors, but influenced by the environment (Go and Pinter, 1994).

Leskovar and Stoffella, (1995) and Román-Avilés *et al.* (2004) indicated that detection of differences in growth and root architecture between genotypes can provide opportunities for the selection for tolerance to root diseases, drought, flood, better absorption of nutrients, and others. It has been observed that plants habit I and II have a longer main root, in contrast to the varieties of habit III. Its roots have a higher growth of adventitious roots (Román-Avilés *et al.*, 2004).

The adventitious roots of beans by definition are those developed from the hypocotyl and, can be numerous and with horizontal growth (Leskovar and Stoffella, 1995). In maize, Perez de la Cerda *et al.* (2007), finds a strong correlation ( $r=0.99$ ) between features that give the seedling vigor and yield components. However, it has also been found in maize inconsistent correlations between seedling and adult plant (Ajala and Fakorede, 1988). Selection for root anatomical characters could be used for improving drought resistance to moisture and to save more efficient use of this in terms of soil water deficit. The aim of this study was to determine the differences in development of bean varieties contrasting in terms of root and shoot in the seedling stage. In addition, other drought-tolerant cultivars have xylem vessels of the root of smaller diameter and fewer xylem bundles in the hypocotyl, those cultivars susceptible to drought.

## Materiales y métodos

Se sembró un experimento en macetas de plástico a la intemperie, el 11 de Mayo de 2006, en el área de invernaderos del Colegio de Posgraduados en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México (19° 21' N, 98° 55' O y 2250 msnm).

### Material vegetal

Se incluyeron cinco variedades comerciales de frijol, de hábito indeterminado tipo III, caracterizadas por su rendimiento de semilla y respuesta a la sequía edáfica en condiciones de campo (Barrios-Gómez *et al.*, 2010) (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Variedades de frijol utilizadas en el experimento.**  
**Table 1. Bean varieties used in the experiment.**

Variedad	AL	DF	P100S (g)	RS (g m <sup>-2</sup> ) <sup>ψ</sup>
FM Bajío (Alto rendimiento)	1989	45-47	25.1	218
FM Corregidora (Tolerante a sequía)	2000	55-57	27.3	210
FM RMC (Susceptible a sequía)	1981	44-55	26.3	179
FJ Marcela (Alto rendimiento)	1997	55-61	30.3	-
Michoacán 128 (Criollo de bajo rendimiento)	1974	47-53	20.2	143

<sup>ψ</sup>Rendimiento de semilla en promedio de tres ambientes de humedad edáfica, Barrios *et al.* (2010). FM= Flor de Mayo; FJ= Flor de Junio; AL=Año de Liberación; DF= días a floración; P100S= peso de 100 semillas; RS= rendimiento de semilla.

### Detalle experimental

Para la siembra se emplearon tubos de PVC de 10.5 cm de diámetro y 50 cm de altura, los cuales se llenaron con suelo. En cada tubo se sembraron tres semillas del mismo peso individual ( $260 \pm 5$  mg) a una profundidad de 3 cm. Las variedades se asignaron en un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de un tubo con suelo y tres plántulas. El suelo empleado fue de textura franco-arenoso [Densidad aparente=  $1.0$  (g cm<sup>-3</sup>), pH= 6.9, materia orgánica= 9.0%], previamente tratado con calor a una temperatura de 70 °C durante 2 h. Se aplicaron riegos frecuentes, manteniendo el contenido de humedad edáfica cercano a capacidad de campo durante el experimento. Las plántulas crecieron bajo temperaturas máximas y mínimas promedio de 29.6 °C y 7.7 °C, fotoperiodo (13.03) y radiación fotosintéticamente activa de  $2.032$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### Análisis de crecimiento

Se cosecharon plántulas completas a los 7, 11, 15, 19 y 23 días después de la siembra (dds) en las cuatro repeticiones y en cada plántula se determinó la longitud de la raíz principal

## Materials and methods

An experiment was sowed in plastic pots in the open in May 11<sup>th</sup>, 2006, in the greenhouse area of the Graduate School of Agricultural Science in Montecillo, municipality of Texcoco, Mexico State (19° 21' north latitude, 98° 55' W and 2250 m).

### Plant material

Five commercial varieties of beans were included, indeterminate growth habit Type III, characterized by seed yield and drought response in field soil (Barrios *et al.*, 2010) (Table 1).

### Experimental details

For planting we used PVC pipes, 10.5 cm in diameter and 50 cm in height, which were filled with soil. In each tube the seeds were sown three of the same individual weight ( $260 \pm 5$  mg) to a depth of 3 cm. The varieties were assigned to an experimental block design completely randomized with four replications. The experimental unit consisted of a tube with soil and three seedlings. The soil used was sandy-loam textured [bulk density=  $1$  (g cm<sup>-3</sup>), pH= 6.9, organic matter= 9.0%], previously treated with heat at a temperature of 70 °C for 2 h. Frequent irrigation was applied, keeping the soil moisture content near field capacity during the experiment. Seedlings were grown under average maximum and minimum temperatures of 29.6 °C and 7.7 °C, photoperiod (13.03) and photosynthetically active radiation of  $2.032$  mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

### Growth analysis

Whole seedlings were harvested at 7, 11, 15, 19 and 23 days after sowing (das) in four replicates and, each seedling was determined by the length of the taproot (LRP, cm), number

(LRP, cm), número de raíces (NRA) y longitud de raíces adventicias (LRA, cm), y el área foliar (AF, cm<sup>2</sup>) que fue determinada con un integrador de área foliar (marca LI-COR, modelo LI-3100). Los diferentes órganos de las plántulas se secaron en una estufa con circulación de aire forzado (marca RIOSSA, modelo HS 82) a una temperatura de 70 °C durante 72 h, para determinar el peso seco total de raíces (PSTR, mg), peso seco de hojas (PSH, mg), peso seco de tallo (PST, mg) y peso seco de los peciolas (PSP, mg).

Con los datos obtenidos se calculó la longitud total de raíces [LTR= raíz principal + raíces adventicias + (raíces laterales de primer orden, segundo orden, tercer orden, etc.), cm], peso seco de la parte aérea [(PSPA= PSH + PST + PSP), mg] y cociente raíz/parte aérea (CRPA= PSTR/PSPA).

Se calculó la tasa relativa de crecimiento (TRC, mg mg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) de las raíces;  $TRC = \log_e (W_2) - \log_e (W_1) / (t_2 - t_1)$ , donde  $W_1$  y  $W_2$ , y  $t_2$  y  $t_1$  representan el peso seco total de raíces (mg) y el tiempo transcurrido entre la primera y la segunda cosecha de plántulas, respectivamente (Hunt, 1978).

#### Análisis de estructuras anatómicas de raíz e hipocótilo

En la última cosecha de plántulas (23 dds), se cortaron ejemplares de la raíz principal de un cm de longitud, en tres posiciones; 1 cm debajo de la “región nodal” (B), en la parte media entre la “región nodal” (M) y 1 cm arriba del ápice de la raíz (A) en las tres plantas de las cuatro repeticiones de cada variedad. Inmediatamente las muestras de tejido se colocaron en viales de plástico de 1.5 mm (Marca Axygen, Inc. USA) con una solución de FAA (alcohol 50%, agua 25%, formol 20%, ácido acético 5%). A los cuatro días de tomadas las muestras, se lavaron con agua destilada y se cambiaron a una solución de GAA (Alcohol 50%, agua 25% y glicerina 25%). Las muestras tratadas con GAA se lavaron con agua destilada y se colocaron en una solución de alcohol a una concentración de 30% durante una hora; después las muestras se transfirieron a soluciones de alcohol de 40, 50, 60 y 70% por espacio de una hora en cada solución. Posteriormente, se procedió a hacer los cortes transversales (aprox. ±0.1 mm), y éstos se colocaron en una solución de alcohol de 80, 90 y 100% durante una hora, respectivamente, con el propósito de lograr una deshidratación completa de los tejidos; las muestras de tejido se deshidrataron con una secadora de punto crítico (Sandri-780A), se colocaron y orientaron en porta muestras de latón 2 x 2 cm (hechos en el Colegio de Postgraduados), utilizando cinta doble adhesiva de cobre (Marca Scotch Electrical Tape 3M) y se recubrieron con oro

of roots (NRA) and length of adventitious roots (LRA, cm) and, the leaf area (LA, cm<sup>2</sup>) was determined with a leaf area integrator (LI-COR brand, model LI-3100). The various organs of the seedlings were dried in an oven with forced air circulation (brand RIOSSA, model HS 82) at a temperature of 70 °C for 72 h to determine the total dry weight of the roots (PSTR, mg), dry weight leaf (PSH, mg), stem dry weight (PST, mg) and dry weight of petioles (PSP, mg).

With the obtained data we calculated the total root length [LTR= main roots + adventitious roots (first-order lateral roots, the second order, third order, etc.) cm], dry weight of the aerial parts [(PSPA= PSH + PST + PSP) mg] and the ratio of root/shoot (CRPA= PSTR/PSPA).

We calculated the relative growth rate (RGR, mg mg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) of the roots,  $TRC = \log_e (W_2) - \log_e (W_1) / (t_2 - t_1)$ , where  $W_1$  and  $W_2$ , and  $t_1$  and  $t_2$  represent total dry weight of roots (mg) and elapsed time between the first and the second crop of seedlings, respectively (Hunt, 1978).

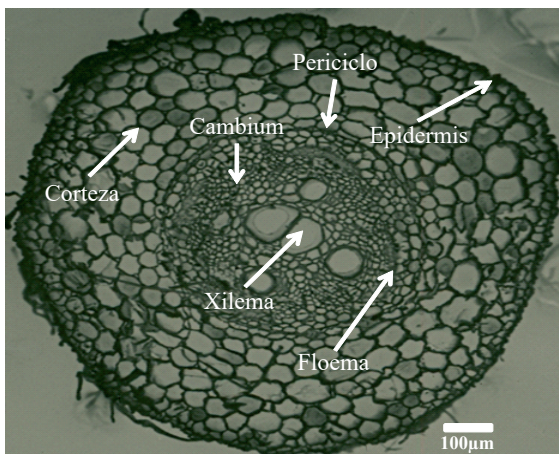
#### Anatomical analysis of root and hypocotyl

In the latest crop of seedlings (23 das), specimens were cut from the main root of a cm in length, in three positions: 1 cm below the “nodal region” (B) in the middle between the “nodal region” (M) and 1 cm above the apex of the root (A) in the three floors of the four replicates of each variety. The tissue samples were immediately placed in plastic vials of 1.5 mm (Trade Axygen, Inc. USA) with an FAA solution (alcohol 50%, water 25%, 20% formalin, 5% acetic acid). After four days the samples taken were washed with distilled water and a solution changed to GAA (alcohol 50%, water 25% and 25% glycerol).

The samples treated with GAA were washed with distilled water and placed in an alcohol solution at a concentration of 30% for one hour then; the samples were transferred to alcohol solutions of 40, 50, 60 and 70% by area of an hour in each solution. Subsequently proceeded to the cross sections (about ± 0.1 mm), and these were placed in a solution of alcohol 80, 90 and 100% for one hour, respectively, in order to achieve complete dehydration of the tissue, the tissue samples were dehydrated with a critical point dryer (Sandri-780A), placed and guided in brass sample holder 2 x 2 cm (made in the Graduate College in Agricultural Sciences), using double adhesive copper tape (Scotch Brand Tape Electrical 3M) and coated with gold during four minutes in an ionizer (Ion Sputter JFC-1100, Jeol, Fine Coat).

durante cuatro minutos en una ionizadora (Ion Sputter JFC-1100, Jeol, Fine Coat). Concluido el proceso las preparaciones se llevaron a un Microscopio Electrónico (Marca Jeol modelo 35-C, JSM-35C) de la Unidad de Microscopia Electrónica del Colegio de Postgraduados, las imágenes se capturaron en una película negativa en blanco y negro Plus-X 125 asa 120 (Kodak Profesional). Estas imágenes se escanearon y se procedió a identificar y medir las estructuras vasculares de la raíz e hipocótilo, mediante el programa de microcomputadora Image Tool for Windows (Wilcox *et al.*, 2002) en el Laboratorio de Morfología de Insectos, del Colegio de Postgraduados.

De las secciones anatómicas transversales (tres puntos: B, M y A) de la raíz principal, se contó el número total de vasos del xilema (NTVX), y se midieron el diámetro de raíz (DR,  $\mu\text{m}$ ), diámetro de los vasos de xilema (DVX,  $\mu\text{m}$ ), diámetro del cilindro vascular o médula (DCV,  $\mu\text{m}$ ) y grosor de la corteza (GC,  $\mu\text{m}$ ); en todos los casos el diámetro se midió en forma horizontal y vertical para calcular un diámetro promedio (Figura 1).



**Figura 1. Estructuras vasculares en el punto medio de la raíz principal en plántulas del cultivar FM Corregidora desarrollado en macetas y establecidas a la intemperie, cosechadas a los 23 dds (54X, barra= 0.1 mm de longitud).**

**Figure 1. Vascular structures in the middle of the taproot in seedlings grown in FM Corregidora cultivars developed and established in pots and in the open, harvested at 23 dap (54X, bar= 0.1 mm in length).**

Se muestrearon también secciones anatómicas transversales del hipocótilo a 1 cm arriba de la “región nodal” (H); se contó el número total de haces de xilema (NTHX) y se midió el diámetro del hipocótilo (DH,  $\mu\text{m}$ ), diámetro de la oquedad central (DOC,  $\mu\text{m}$ ), diámetro de la médula (DM,  $\mu\text{m}$ ) y grosor de la corteza

Once the preparations process was over, it was taken to a scanning electron microscope (Jeol Model Mark 35-C, JSM-35C) of the electron microscopy unit of the Graduate College in Agricultural Sciences; the images were captured on black and white negative film Plus -X 125 loop 120 (Kodak Professional). These images were scanned and proceeded to identify and measure the vascular structures of the roots and hypocotyls, by the microcomputer program for Windows Image Tool (Wilcox *et al.*, 2002) in the laboratory of insect morphology, Graduate College in Agricultural Sciences.

Anatomical cross sections (three points: B, M and A) of the main root were counted, the total number of xylem vessels (NTVX), and measured the diameter of the root (DR,  $\mu\text{m}$ ), vessel diameter xylem (DVX,  $\mu\text{m}$ ), diameter of vascular cylinder or core (DCV,  $\mu\text{m}$ ) and thickness of the cortex (GC,  $\mu\text{m}$ ), in all cases the diameter was measured horizontally and vertically to calculate an average diameter (Figure 1).

Anatomical cross sections of the hypocotyls to 1 cm above the “nodal region” (H) were also sampled, counting the total number of xylem bundles (NTHX) and measuring the diameter of the hypocotyl (DH,  $\mu\text{m}$ ) diameter central well (doc, microns), diameter of the medulla (DM,  $\mu\text{m}$ ) and thickness of the cortex (GC,  $\mu\text{m}$ ), these data were determined in horizontal and vertical image in each section to calculate an average, because the vascular structures are not completely cylindrical and have a better estimation of the diameter of the various anatomical structures (Figure 2).

### Statistical analysis

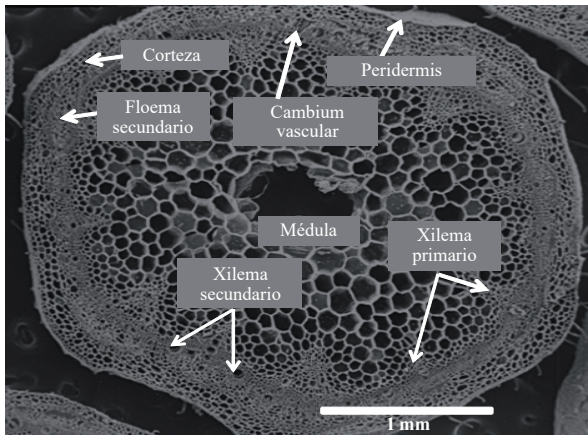
We performed the analysis of variance for all variables using SAS (2008), individually as well as in randomized complete block design ( $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$ ) for each experiment. Tukey significant difference (HSD,  $p \leq 0.05$ ) for the comparison of means was also calculated.

## Results and discussion

### Diversity in morphological and anatomical root

The diversity in morphological and anatomical sections in different parts of the main root at 23 daps, showed that all variables were highly significant ( $p \leq 0.01$ ) except the root

(GC,  $\mu\text{m}$ ); éstos datos se determinaron en dirección horizontal y vertical de la imagen en cada corte para calcular un promedio, debido a que las estructuras vasculares no son completamente cilíndricas y tener una mejor estimación del diámetro de las diferentes estructuras anatómicas (Figura 2).



**Figura 2. Estructuras vasculares del hipocótilo en plántulas del cultivar FM Corregidora cultivados en macetas y establecidas a la intemperie, cosechadas a los 23 dds (26X, 5KV, barra=1 mm de longitud).**

**Figure 2. Vascular structures of the hypocotyl in seedlings of the FM Corregidora cultivar grown in pots and set out in the open, harvested at 23 dap (26X, 5KV, bar=1 mm in length).**

### Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza para todas las variables medidas con el programa SAS (2008) en forma individual como un bloques completamente al azar ( $Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$ ) para cada experimento. Se calculó también la diferencia significativa de Tukey (DSH,  $p \leq 0.05$ ) para la comparación de medias.

## Resultados y discusión

### Diversidad en caracteres morfológicos y anatómicos de la raíz

La diversidad en caracteres morfológicos y anatómicos de cortes en diferentes puntos de la raíz principal a los 23 dds, mostraron que todas las variables fueron altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ), excepto el diámetro de la raíz (DR), fue significativa ( $p \leq 0.05$ ). En el punto M y punto A, la raíz mostró menor diámetro que en el punto B; la raíz tiende a ser más delgada conforme se aproxima al ápice, esto se reflejó en

diameter (RD), which was significant ( $p \leq 0.05$ ). At the point M and point A, the root diameter was lower than at point B, the result tends to be thinner as it approaches the apex, and this was reflected in a decreased diameter of xylem vessels (DVX) and diameter vascular cylinder (DCV) and decreased the total number of xylem vessels (NTVX) (Table 2). The reduction in the DR as it approaches the main apex is due to active cell division or mitosis of the root is not in the apical region, but at a distance that varies with the different regions of the tissue (Esau, 1982).

By contrast, the thickness of the cortex (GC) was lower in B than in the points M and A, and increased significantly as it approaches the apex of the root, indicating a lower DVX, DCV, and NTVX (Table 2); this is due that at these points of the root, the vascular cylinder occupies less volume than the cortex, because the longitudinal differentiation of primary vascular tissues is acropetal (Esau, 1982). Considering the variation observed in the DR in the three main points discussed, it was decided to use an average value of three points for subsequent comparisons between cultivars.

### Morphological and anatomical root varieties

FM Corregidora, FJ Marcela and FM Bajío had axes of the main root with smaller DR than the susceptible to drought (FM CMR) and lanrace (Michoacán 128). The lower DR in these cultivars was reflected in lower CSDs and DVX, and less GC, except for FJ Marcela whose DVX was similar to FM RMC and landrace. The NTVX did not show a definite trend among the cultivars studied (Table 3). The DR, DCV and DVX are important for internal transport of water in the plant, especially when it experiences water stress. In cereals, increased DVX favors a greater hydraulic conductance within the root and lower resistance to water flow in the xylem (Passioura, 1982).

DVX could be used as a character for selection to increase resistance to water flow in longitudinal or axial resistance in the root; if the soil moisture level drops to the ground and cannot absorb at a speed that allows to maintain the transpiration rate during grain filling, this results in stomatal closure, and at the end of the cycle in small seeds and low harvest index and seed yield.

In these circumstances the selection of genotypes with roots and xylem vessels of smaller diameter, could help to conserve water for the formation of the seeds after flowering,

una disminución del diámetro de los vasos de xilema (DVX) y diámetro del cilindro vascular (DCV) y disminución del número total de vasos del xilema (NTVX) (Cuadro 2). La reducción en el DR principal al aproximarse al ápice, se debe a que la división celular activa o mitótica de la raíz no aparece en la región apical, sino a una cierta distancia que varía con las distintas regiones de los tejidos (Esau, 1982).

reducing the impact of water deficiency. By contrast, other crops leave a high proportion of available soil moisture at physiological maturity, the best thing is to select cultivars with increased the number and length and roots, to promote a much better conducive and greater absorption of water and nutrients (Passioura, 1980; Richards and Passioura, 1981).

**Cuadro 2. Diámetro de raíz (DR), diámetro de los vasos del xilema (DVX), diámetro del cilindro vascular (DCV), grosor de la corteza (GC) y número total de vasos del xilema (NTVX), en los tres puntos de la raíz principal de plantas establecidas en condiciones de intemperie a los 23 dds.**

**Table 2. Root diameter (RD), diameter of xylem vessels (DVX), diameter of vascular cylinder (DCV), thickness of the cortex (GC) and total number of xylem vessels (NTVX) within three points of the main root of the plants established in outdoor conditions at 23 dap.**

Punto de observación en la raíz principal	µm				
	DR	DVX	DCV	GC	NTVX
B (un cm debajo de la “región nodal”)	941	66	515	213	11.1
M (parte media entre la “región nodal y el ápice”)	843	52	360	240	5.5
A (un cm arriba del ápice de la raíz)	842	29	264	289	2.6
DHS ( $p \leq 0.05$ )	85	8	47	33	1.2

Por el contrario, el grosor de la corteza (GC) fue menor en el punto B que en los puntos M y A, y aumentó significativamente al aproximarse al ápice de la raíz, al indicar un menor DVX, DCV, y NTVX (Cuadro 2); lo anterior se debe a que en estos puntos de la raíz, el cilindro vascular ocupa menor volumen que la corteza, debido a que la diferenciación longitudinal de los tejidos vasculares primarios es acrópeta (Esau, 1982). Al considerar la variación observada en el DR principal en los tres puntos analizados, se decidió utilizar un valor promedio de los tres puntos, para las comparaciones subsecuentes entre cultivares.

**Caracteres morfológicos y anatómicos de raíz en variedades**

FM Corregidora, FJ Marcela y FM Bajío tuvieron ejes de la raíz principal con menor DR que el susceptible a sequía (FM RMC) y el criollo (Michoacán 128). El menor DR en estos cultivares se reflejó en menor DCV y DVX, y menor GC, excepto FJ Marcela, cuyo DVX fue similar al de FM RMC y al criollo. El NTVX no presentó una tendencia definida entre los cultivares estudiados (Cuadro 3). El DR, DCV y DVX son importantes para el transporte interno del agua en la planta, sobre todo cuando ésta experimenta estrés hídrico. En los cereales un mayor DVX favorece mayor conductancia hidráulica dentro de la raíz y menor

The study of the variability in the internal structures of the roots of the beans offers great potential for improving yield under rainfed conditions, where the lack of moisture and the presence of soil water deficits at critical stages of development, severely affecting seed yield and its components.

This study clearly shows that, the most important characters for plant adaptation to drought are those that enable efficient capture and transport of water and nutrients within the plant as indicated by (Nardinia *et al.*, 2011 and Van Bela *et al.*, 2011) the diameter of the root xylem vessels of the roots are undoubtedly important characteristics to determine the amount and speed of movement of water into the plant, especially when the roots detect deficiencies in the amount of water available for growth processes of the plant (Holste *et al.*, 2006).

The length and root dry weight determine the size of the root system and the volume of soil that can be explored, for absorbing water and nutrients, the rate of growth (relative growth rate or root elongation rate) and the abundance of branches of lateral roots are also important characteristics for the development of a widespread and deep root system that can effectively capture moisture in the layers near to the soil surface and deeper in the soil profile.



resistencia al flujo del agua en el xilema (Passioura, 1982). El DVX se podría utilizar como carácter de selección, al incrementar la resistencia longitudinal al flujo del agua o resistencia axial, en la raíz; si la humedad edáfica disminuye a un nivel que la planta ya no puede absorberla a una velocidad que le permita mantener la tasa transpiratoria durante el llenado del grano, esto resulta en un cierre estomático, y al final del ciclo en semillas pequeñas y un bajo índice de cosecha y rendimiento de semilla. En éstas circunstancias la selección de genotipos con raíces y vasos de xilema de menor diámetro, podría contribuir a conservar agua para la formación de la semilla después de la floración, al reducir el impacto de las deficiencias hídricas. Por el contrario, si los cultivos dejan una alta proporción de humedad disponible en el suelo en la madurez fisiológica, lo más conveniente será seleccionar cultivares con mayor número y longitud e raíces, de tal forma que favorezcan una mayor absorción de agua y nutrientes (Passioura, 1980; Richards y Passioura, 1981).

The dry matter allocation between roots and aerial parts of the plant (ratio root/shoot) is another important factor in adaptation to drought, the drought tolerant genotypes need to develop an extensive root system and deep, consisting of thin roots and xylem vessels of smaller diameter, to keep the absorption of water and nutrients for the growth of new tissue in both the root system and the aerial parts of the plant (leaf area, stems and reproductive structures).

In this aspect is important to note that, the ratio of root/shoot itself is not an effective selection criterion to increase the absorption of water and nutrients, and drought tolerance and performance, care should be taken to select cultivars that also produce extensive root systems and also have high biomass accumulation in the shoot, otherwise excessive root growth at the expense of the aerial organs of the plant can result in poor performance.

**Cuadro 3. Diámetro de raíz (DR), diámetro de los vasos del xilema (DVX), diámetro del cilindro vascular (DCV), grosor de la corteza (GC) y número total de vasos del xilema (NTVX), de los tres puntos utilizados en el eje de la raíz principal; diámetro del hipocótilo (DH), diámetro de la oquedad central del hipocótilo (DOCH), DCV del hipocótilo (DCVH), grosor de la corteza del hipocótilo (GCH) y número total de haces vasculares de xilema del hipocótilo (NTHX), para cada cultivar a un cm de la “región nodal” de la plántula. Plantas en condiciones de intemperie a los 23 dds.**

**Table 3. Root diameter (RD), diameter of xylem vessels (DVX), diameter of vascular cylinder (DCV), thickness of the cortex (GC) and total number of xylem vessels (NTVX) of the three points used in the axis of the main root, hypocotyl diameter (DH), diameter of the central well of the hypocotyl (DOHC), DCV hypocotyl (DCVH), thickness of the cortex of the hypocotyl (HCG) and total number of vascular bundles of xylem of the hypocotyl (NTHX), for each one at 1 cm from the “nodal region” of the seedling. Plants in outdoor conditions at 23 dap.**

Cultivar	μm					μm				
	DR	DVX	DVC	GC	NTVX	DH	DOCH	DCVH	GCH	NTHX
FM Corregidora (Tolerante a sequía)	841	46	359	231	8.3	2610	2201	928	205	15
FJ Marcela (Alto rendimiento)	785	53	365	210	5.8	2790	2347	763	221	13.2
FM RMC (Susceptible a sequía)	976	49	373	304	5.2	2282	1921	1006	181	13.2
FM Bajío (Alto rendimiento)	824	46	347	239	6.9	2579	2188	770	195	13.4
Michoacán 128 (Criollo de bajo rendimiento)	946	54	433	257	8.1	2222	1903	697	159	12.4
Media general	874	50	375	248	6.9	2497	2112	833	192	13.4
DSH( $p \leq 0.05$ )	102	7	71	49	1.8	356	340	489	52	2.4

El estudio de la variabilidad en las estructuras internas de las raíces del frijol, ofrece un gran potencial para el mejoramiento del rendimiento en condiciones de secano, donde la escasez de humedad y la presencia de deficiencias hídricas edáficas en las etapas críticas de desarrollo, afectan severamente el rendimiento de semilla y sus componentes. El presente trabajo muestra claramente que los caracteres

#### **Hypocotyl's morphological and anatomical characters in the varieties**

FM Corregidora, FJ Marcela and FM Bajío showed greater hypocotyl diameter (DH) than FM RMC and Michoacán FM 128, this difference in DH was also observed in the diameter of the central hole (DOHC). FJ Marcela, FM Corregidora,

más importantes para la adaptación de la planta a la sequía son aquellos que permiten una captura y transporte eficiente del agua y nutrientes al interior de la planta como lo señalan Nardinia *et al.* 2011 y Van Bela *et al.* 2011; el diámetro de la raíz y los vasos del xilema de las raíces, sin duda son caracteres importantes para determinar la cantidad y velocidad de movimiento del agua al interior de la planta, sobre todo cuando las raíces detectan deficiencias en la cantidad del agua disponible, para los procesos de crecimiento de la planta (Holste *et al.*, 2006). La longitud y peso seco de las raíces determinan el tamaño del sistema radical y el volumen de suelo que pueden explorar, para la absorción de agua y nutrientes; la velocidad de crecimiento (tasa relativa de crecimiento o tasa de elongación radical) y la abundancia de las ramificaciones de las raíces laterales, son también características importantes para el desarrollo de un sistema radical extendido y profundo, que pueda capturar humedad eficazmente en las capas cercanas a la superficie del suelo y a mayor profundidad en el perfil del suelo.

La asignación de materia seca entre las raíces y la parte aérea de la planta (cociente raíz/parte aérea) constituye otro factor importante en la adaptación a la sequía; los genotipos tolerantes a sequía requieren desarrollar un sistema radical extenso y profundo, constituido por raíces delgadas y con vasos de xilema de menor diámetro, que permita mantener la absorción de agua y nutrientes, para la expansión de nuevos tejidos tanto en el sistema radical como en los órganos aéreos de la planta (área foliar, tallos y estructuras reproductoras). En éste aspecto es importante señalar que el cociente de raíz/parte aérea por sí mismo, no es un criterio de selección efectivo para incrementar la absorción de agua y nutrientes, y la tolerancia a la sequía y rendimiento, habrá que tener cuidado de seleccionar cultivares que además de producir sistemas radicales y extensos también tengan alta acumulación de biomasa en la parte aérea; de otra manera un crecimiento radical excesivo a expensas de los órganos aéreos de la planta puede resultar en bajo rendimiento.

### **Caracteres morfológicos y anatómicos del hipocótilo en variedades**

Las variedades FM Corregidora, FJ Marcela y FM Bajío mostraron mayor diámetro de hipocótilo (DH) que FM RMC y Michoacán 128; ésta diferencia en DH también se observó en el diámetro de la oquedad central (DOCH). FM Corregidora FJ Marcela, FM Bajío y FM RMC tuvieron mayor grosor de la corteza del hipocótilo (GCH) y número

FM Bajío and FM RMC had greater thickness of the cortex of the hypocotyl (HCG) and total number of vascular bundles of xylem (NTHX) than Michoacán 128's. There was no significant difference among cultivars for the diameter of the vascular cylinder (DCV) of the hypocotyl (Table 3).

The anatomy of the vascular structures of the hypocotyl differ from tracheal structures of the root, DH is almost three times thicker than the main DR, CSDs of the hypocotyl is two times the DCV of the main root (Table 6 vs. Table 3). The hypocotyl has a central cavity that could occupy 85% of the diameter of the main root and bark 23% thinner than the main root (Table 3).

### **Variation in growth traits of the root**

The cultivars FM Marcela and FJ Corregidora produced longer roots and accumulated more dry weight of roots (PSTR) than the other cultivars at 23 dap. FM Corregidora produced greater total root length (LTR) of the main root (LRP), adventitious roots and lateral roots (LRAL), while FJ Marcela produced higher LTR LRAL LRP than the other cultivars (Table 4). The greatest PSTR accumulation of FM Corregidora was due to higher dry matter production in adventitious roots and lateral roots, while the higher PSTR in FJ Marcela was obtained with higher PSRAL PSRP and the than the other cultivars (Table 4).

Román-Avilés *et al.* (2004) studied different varieties of beans in the greenhouse growth habits found between 0 and 8 adventitious roots per plant, being susceptible lines which had a lower number of roots, they also found that the line with the highest number of adventitious roots were reported as tolerant to drought, a greater force and greater depth of the roots. FM Bajío and FJ Marcela showed a main root of greater length, which can be related to the habit more compact, it has been observed in plants of habit I and II having a taproot unlike the habit III varieties, but found no significant differences in the length of roots in beans, which compared several commercial bean classes, finding varieties of type I, II and III a total length of 1 094, 1 116 and 1 094 cm per plant (Román-Avilés *et al.*, 2004).

In other species, it has been observed in terms of the length of the roots of wheat, barley and oats (López-Castañeda *et al.*, 1996), maize (Pérez de la Cerda *et al.*, 2007), wheat (Liao *et al.*, 2004) and sorghum (Valdez-Gutiérrez *et al.*, 2007) that the further development of the seedling is due

total de haces vasculares de xilema (NTHX) que Michoacán 128. No se detectó diferencia significativa entre cultivares para el diámetro del cilindro vascular (DCV) del hipocótilo (Cuadro 3). La anatomía de las estructuras vasculares del hipocótilo difieren de las estructuras traqueales de la raíz; el DH es casi tres veces más grueso que el DR principal; el DCV del hipocótilo es dos veces mayor que el DCV de la raíz principal (Cuadro 6 vs. Cuadro 3). El hipocótilo tiene una oquedad central que podría ocupar el 85% del diámetro de la raíz principal y una corteza 23% más delgada que la raíz principal (Cuadro 3).

### Variación en caracteres de crecimiento de la raíz

Los cultivares FM Corregidora y FJ Marcela produjeron raíces más largas y acumularon mayor peso seco total de raíces (PSTR) que los otros cultivares a los 23 dds. FM Corregidora produjo mayor longitud total de raíces (LTR), de raíz principal (LRP), de raíces adventicias y de raíces laterales (LRAL), mientras que FJ Marcela produjo mayor LTR, LRP y LRAL que los demás cultivares (Cuadro 4). La mayor acumulación de PSTR en FM Corregidora se debió a mayor producción de materia seca en las raíces adventicias y raíces laterales, mientras que el mayor PSTR en FJ Marcela se obtuvo con un mayor PSRP y PSRAL que los otros cultivares (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Peso seco total de raíces (PSTR), peso seco de la raíz principal (PSRP), peso seco de raíces adventicias y laterales (PSRAL), longitud total de raíces (LTR), longitud de la raíz principal (LRP) y longitud de raíces adventicias y laterales (LRAL), de plantas de frijol en condiciones de intemperie a los 23 dds.**

**Table 4. Total dry weight of roots (PSTR), dry weight of the main root (PSRP), dry weight of adventitious roots and lateral (PSRAL), total root length (LTR), main root length (LRP) and root length adventitious and lateral (LRAL) of bean plants in outdoor conditions at 23 dap.**

Cultivar	(mg)				(m)			
	PSTR	PSRP	PSRA	PSRL	LTR	LRP	LRA	LRL
FM Corregidora	199.2	7.83	61.59	129.78	9.16	0.36	2.83	5.97
FJ Marcela	194.4	8.97	52.15	133.27	8.45	0.39	2.27	5.79
FM RMC	186.6	8.27	51.48	126.85	8.12	0.36	2.24	5.52
FM Bajío	182.6	6.24	46.15	130.21	8.19	0.28	2.07	5.84
Michoacán 128	141.9	6.97	57.07	77.86	6.92	0.34	2.78	3.80
Media general	180.9	7.66	53.69	119.60	8.17	0.35	2.44	5.38
DSH( $p \leq 0.05$ )	10.4	0.65	9.6	16.65	0.75	0.07	0.35	0.65

Román-Avilés *et al.* (2004) estudiando variedades de frijol de diferentes hábitos de crecimiento en invernadero encontraron entre 0 y 8 raíces adventicias por planta, siendo las líneas susceptibles las que tuvieron un menor número

to a greater number of seminal or adventitious roots. The traditional view suggests that a vigorous and extensive root system combined with escape mechanisms to water deficit of the plant is one of the best strategies of resistance to drought (Ludlow and Muchow, 1988). A large force in the growth of roots in bean seedling favors a high water absorption and nitrogen (Liao *et al.*, 2004).

The drought tolerant cultivar (FM Corregidora) produced roots faster than other cultivars; FM Corregidora had greater relative growth rate (mg dry matter produced per mg root dry matter in roots by day) roots than the other cultivars (Table 5). This advantage in the rapid growth of the roots, coupled with its characteristics of being thin roots (smaller diameter) and have narrower xylem vessels (smaller diameter), can help cultivate FM Corregidora as attributes that allows to better match the drought and produce high seed yield (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

Other studies in varieties of barley and wheat flour have shown that a vigorous root system with abundant lateral root branches, distributed more evenly in the soil near the surface, such as barley, are more efficient for absorption and conduction of water inside the plant (López-Castañeda and Richards, 1994), varieties and bean recombinant inbred lines have also determined that a vigorous root system extended

growth near the soil surface under cultivation, favoring a greater absorption of water and nutrients such as phosphorus, which has low mobility in soil solution and low efficiency of plant uptake (Liao *et al.*, 2004).

de raíces, también encontraron que la línea con mayor número de raíces adventicias, reportada como tolerante a sequía, presentó mayor vigor y mayor profundización de raíces. FM Bajío y FJ Marcela mostraron una raíz principal de mayor longitud, lo cual puede estar relacionado al hábito más compacto, esto se ha observado en plantas de hábito I y II que tienen una raíz pivotante a diferencia de las variedades de hábito III; sin embargo, no encontraron diferencias significativas en cuanto a la longitud de raíces en frijol, donde compararon varias clases comerciales de frijol, encontrando en variedades del tipo I, II y III una longitud total de 1094, 1116 y 1094 cm por planta (Román-Avilés *et al.*, 2004).

En otras especies se ha observado en cuanto a la longitud de las raíces de trigo, cebada y avena (López-Castañeda *et al.*, 1996), maíz (Pérez de la Cerda *et al.*, 2007), en trigo (Liao *et al.*, 2004) y sorgo (Valadez-Gutiérrez *et al.*, 2007) que un mayor desarrollo de la plántula es debido a un mayor número de raíces seminales o adventicias. La opinión tradicional sugiere que un sistema radical vigoroso y extenso combinado con mecanismos de escape a déficit hídricos de la planta es una de las mejores estrategias de la resistencia a sequía (Ludlow y Muchow, 1988). Un alto vigor en el crecimiento de las raíces en la plántula de frijol favorece una alta absorción de agua y nitrógeno (Liao *et al.*, 2004).

El cultivar tolerante a sequía (FM Corregidora) produjo sus raíces a mayor velocidad que los demás cultivares; FM Corregidora tuvo mayor tasa relativa de crecimiento (mg de materia seca producida en las raíces por mg de materia seca presente en las raíces por día) de raíces que los otros cultivares (Cuadro 5). Esta ventaja en el rápido crecimiento de las raíces, aunada a sus características de ser raíces más delgadas (menor diámetro) y tener vasos de xilema más estrechos (menor diámetro), pueden ayudar al cultivar FM Corregidora como atributos que le permiten adaptarse mejor a la sequía y producir alto rendimiento de semilla (Barrios-Gómez *et al.*, 2010).

Otros estudios realizados en variedades de cebada y trigo harinero han mostrado que un sistema radical vigoroso con abundantes ramificaciones de las raíces laterales, que se distribuyan más uniformemente en el suelo cercano a la superficie, como es el caso de cebada, tienen mayor eficiencia en la absorción y conducción del agua al interior de la planta (López-Castañeda y Richards, 1994); en variedades y líneas recombinantes de frijol también se ha determinado

**Cuadro 5. Tasa relativa de crecimiento (TRC) de las raíces de la plántula durante el experimento en condiciones de intemperie en macetas.**

**Table 5. Relative growth rate (TRC) of the roots of the seedling during the experiment on field conditions in pots.**

Cultivar	TRC (mg mg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>
FM Corregidora (Tolerante a sequía)	0.106	0.98
FJ Marcela (Alto rendimiento)	0.098	0.99
FM RMC (Susceptible a sequía)	0.099	0.99
FM Bajío (Alto rendimiento)	0.091	0.99
Michoacán 128 (Criollo de bajo rendimiento)	0.091	0.99
Media general	0.097	-
DSH ( $p \leq 0.05$ )	0.005	-

r<sup>2</sup>= representan los coeficientes de correlación de Pearson.

FM Corregidora cultivar (drought tolerant) and FJ Marcela (high performance) accumulated more dry weight of aerial parts than other cultivars', and only FJ Marcela (high performance) produced a greater total leaf area than all the other cultivars in the harvest (23 dap) (Table 6). FM RMC cultivar (susceptible to drought), FM Bajío (high performance) and FM Corregidora (drought tolerant) ratio showed higher root/shoot than FJ Marcela (high performance) and Michoacán 128 (native) (Table 6). However, it can be seen that the high ratio of root/shoot FM Corregidora cultivar was due to its higher total dry weight of roots than FM RMC and FM Bajío, actually owe their high ratio root/shoot, for having accumulated much less dry weight than FM Corregidora.

**Cuadro 6. Peso seco de la parte aérea (PSPA), área foliar total (AFT) y cociente raíz/parte aérea (CRPA), en plantas de frijol crecidas en condiciones de intemperie a los 23 dds.**

**Table 6. Dry weight of aerial parts (PSPA), total leaf area (AFT) and the ratio root/shoot (CRPA) in bean plants grown in outdoor conditions at 23 dap.**

Cultivar	PSPA (mg)	AFT (cm <sup>2</sup> )	CRPA
FM Corregidora	410	64	0.49
FJ Marcela	422	76	0.46
FM RMC	346	53	0.54
FM Bajío	357	55	0.51
Michoacán 128	323	50	0.44
Media general	371	60	0.49
DSH ( $p \leq 0.05$ )	47	5	0.07

que un sistema radical vigoroso con crecimiento extendido cercano a la superficie del suelo debajo del cultivo favorece mayor absorción de agua y elementos nutritivos como el Fósforo, que tiene baja movilidad en la solución del suelo y baja eficiencia de absorción por la planta (Liao *et al.*, 2004).

Los cultivares FM Corregidora (tolerante a sequía) y FJ Marcela (alto rendimiento) acumularon mayor peso seco de la parte aérea que los demás cultivares, y sólo FJ Marcela (alto rendimiento) produjo mayor área foliar total que todos los demás cultivares en la cosecha final (23 dds) (Cuadro 6). Los cultivares FM RMC (susceptible a sequía), FM Bajío (alto rendimiento) y FM Corregidora (tolerante a sequía) mostraron mayor cociente raíz/parte aérea que los cultivares FJ Marcela (alto rendimiento) y la variedad criolla Michoacán 128 (criollo) (Cuadro 6). Sin embargo, puede observarse que el alto cociente raíz/parte aérea del cultivar FM Corregidora se debió a su mayor peso seco total de raíces que los cultivares FM RMC y FM Bajío, que en realidad deben su alto cociente raíz/parte aérea, al haber acumulado mucho menor peso seco de la parte aérea que FM Corregidora.

### **Peso seco total de plántula (parte aérea y raíz)**

El peso seco total de la plántula (PSTR + PSPA) mostró diferencias ( $p \leq 0.01$ ) desde los 11 a 23 dds. En el último muestreo, FJ Marcela y FM Corregidora mostraron el mayor ( $p \leq 0.01$ ) peso seco total de plántula. FM Corregidora siempre fue constante en su desarrollo y obtuvo significativamente los mayores valores, a comparación de FJ Marcela, que en las últimas dos cosechas (19 y 23 dds) logró sobrepasar a todas las demás variedades. FM Bajío fue una variedad que mayor valor ( $p \leq 0.05$ ) presentó, excepto en el último muestreo. La variedad criolla Michoacán 128 en todos los muestreos presentó el valor más bajo ( $p \leq 0.01$ ) para peso seco total de plántula. Se observó, que en estas variedades en el lapso de 15 a 19 dds se comportan como autótrofas, ya que después de haber disminuido su peso seco en promedio de todas las variedades un 33%, a los 19 dds lo incrementaron un 14% del peso inicial. FJ Marcela fue la variedad que perdió más peso (15 dds) y la que se recuperó más rápidamente. Asimismo, fue la que más peso total de plántula registró en los muestreos subsecuentes (Datos no mostrados). Se ha observado que en cereales (López-Castañeda *et al.*, 1996) esto ocurre como lo encontrado en frijol en el presente estudio alrededor de los 15 dds (150 grados-día).

### **Seedling total dry weight (shoots and roots)**

The total dry weight of the seedling (PSTR + PSPA) showed differences ( $p \leq 0.01$ ) from 11 to 23 dap. In the last sampling, FM Corregidora and FJ Marcela showed the highest ( $p \leq 0.01$ ) total dry weight of seedling. FM Corregidora stood out in its development and obtained significantly higher values, compared with FJ Marcela, in the last two harvests (19 and 23 dap) managed to surpass all other varieties. FM Bajío was a variety with the higher value ( $p \leq 0.05$ ) presented, except in the last sampling. The landrace Michoacán 128 in all samples presented the lowest ( $p \leq 0.01$ ) for the total dry weight of seedling. It was observed that in these varieties in the span of 15 to 19 dap behave as autotrophic, since after declining an average dry weight of all varieties 33%, at 19 dap increased 14% of initial weight. FJ Marcela was the variety that lost more weight (15 dap) and that recovered more quickly. It was also the most total weight of seedlings recorded in subsequent surveys. It has been observed in cereals (López-Castañeda *et al.*, 1996) this occurs as beans found in the present study around 15 dap (150 degree-days).

### **Conclusions**

The FM Corregidora's roots grow faster and in greater numbers than other cultivars', giving it a greater size in the seedling stage. FM Corregidora (drought tolerant) and FJ Marcela cultivars (high performance) accumulated more dry weight of aerial parts than the other cultivars and, only FJ Marcela produced higher total leaf area than all other cultivars in the final harvest.

The varieties studied that had roots and xylem vessels of smaller diameter are considered drought tolerant, unlike that in the hypocotyl with no relationship whatsoever, as many were related to drought tolerant varieties, but all the improved varieties had more vascular than the native variety. This may represent part of the work of plant breeding to indirectly create the greatest potential of improved varieties with a higher power force, possibly by as much water as distributed or lead to the aerial organs.

*End of the English version*



## Conclusiones

Las raíces de FM Corregidora crecen a mayor velocidad y en mayor número que los demás cultivares, lo que le confiere mayor tamaño en la etapa de plántula. Los cultivares FM Corregidora (tolerante a sequía) y FJ Marcela (alto rendimiento) acumularon mayor peso seco de la parte aérea que los demás cultivares, y sólo FJ Marcela produjo mayor área foliar total que todos los demás cultivares en la cosecha final.

Las variedades estudiadas que tuvieron raíces y vasos de xilema de menor diámetro son consideradas como tolerantes a sequía, a diferencia que en el hipocótilo no se observó relación alguna, de mayor número de haces estuviera relacionado con variedades tolerantes a sequía; sin embargo, todas las variedades mejoradas tuvieron mayor número de haces vasculares que la variedad criolla. Esto puede representar parte del trabajo del fitomejoramiento al crear indirectamente el mayor potencial de las variedades mejoradas el poder tener un mayor vigor, que posiblemente sea por la mayor cantidad de agua que pueda distribuir o conducir a los órganos aéreos.

## Agradecimiento

Los costos de publicación de este trabajo fueron cubiertos por el Fondo Mixto-Gobierno del estado de Tamaulipas.

## Literatura citada

- Ajala, S. O. and Fakorede, M. A. B. 1988. Inheritance of seedling-vigor and its association with mature plant traits in maize populations at two levels of breeding. *Maydica* 33:121-129.
- Anda, A. and Pinter, L. 1994. Sorghum germination and development as influenced by soil temperature and water content. *Agron. J.* 86:621-624.
- Barrios-Gómez, E. J.; López-Castañeda, C.; Kohashi-Shibata, J.; Acosta-Gallegos, J. A.; Miranda-Colín, S. y Mayek-Pérez, N. 2010. Rendimiento de semilla y sus componentes en frijol Flor de Mayo en el Centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Dinant, S. and Lemoine, R. 2010. The phloem pathway: New issues and old debates. *Plant Biol. and Pathol.* 333:307-319.
- Holste, E. K.; Jerke, M. J. and Matzner, S. L. 2006. Long-term acclimatization of hydraulic properties, xylem conduit size, wall strength and cavitation resistance in *Phaseolus vulgaris* in response to different environmental effects. *Plant, Cell Environ.* 29:836-843.
- Hunt, R. 1978. Plant growth analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology No. 96. Edward Arnold (Publishers) Limited. London, Great Britain. 67 p.
- Kaufmann, I.; Schulze-Till, T.; Schneider, H. U.; Zimmermann, U.; Jakob, P. and Wegner, L. H. 2009. Functional repair of embolized vessels in maize roots after temporal drought stress, as demonstrated by magnetic resonance imaging. *New Phytol.* 184:245-256.
- Liao, H.; Yan, X.; Rubio, G.; Beebe, S. E.; Blair, M. W. and Lynch, J. P. 2004. Genetic mapping of basal root gravitropism and phosphorous acquisition efficiency in common bean. *Functional Plant Biology* 31:959-970.
- Lawlor, D. W. 1972. Growth and water use of *Lolium perenne*. I. Water transport. *J. of Appl. Ecol.* 9:79-98.
- Leskovar, D. I. and Stoffella, P. J. 1995. Vegetable seedling root systems: morphology, development, and importance. *HortScience* 30:1153-1159.
- López-Castañeda, C. and Richards, R. A. 1994. Variation in temperate cereals in rainfed environments. I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Research* 37:51-62.
- López-Castañeda, C.; Richards, R. A.; Farquhar, G. D. and Williamson, R. E. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Sci.* 36:1257-1266.
- Ludlow, M. M. and Muchow, R. C. 1988. Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. *In: Bidinger, F.R. and Johansen, C. (eds.). Drought research priorities for the dryland tropics.* ICRISAT, Patancheru, India. p. 179-211.
- Nardinia, A.; Lo, G. M. A. and Salleo, S. 2011. Refilling embolized xylem conduits: Is it a matter of phloem unloading? *Plant Science* 180:604-611.
- Passioura, J. B. 1980. The transport of water from soil to shoot in wheat seedlings. *J. of Exp. Bot.* 31 (120):333-345.
- Passioura, J. B. 1982. The role of root system characteristics in the drought resistance of crop plants. *In: Drought resistance in crops with emphasis on rice.* IRRI, The Philippines. 71-82 p.

- Esau, K. 1982. Anatomía de las plantas con semilla. Primera edición en Español, Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires, Argentina. 512 p.
- Faiz, S. M .A. and Weatherley, P. E. 1978. Further investigations into the location and magnitude of the hydraulic resistances in the soil: plant system. *New Phytologist* 81:19-28.
- Pérez de la Cerda, F. J.; Córdova Téllez, L.; Santacruz Varela, A.; Castillo González, F.; Cárdenas Soriano, E. y Delgado Alvarado, A. 2007. Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. *Agric. Téc. en Méx.* 33:5-16.
- Richards, R. A. and Passioura J. B. 1981. Seminal root morphology and water use of wheat II. Genetic variation. *Crop Sci.* 21:253-255.
- Román-Avilés, B.; Snapp, S. S. and Kelly, J. D. 2004. Assessing root traits associated with root rot resistance in common bean. *Field Crops Res.* 86:147-156.
- Rubio, G. and Lynch, J.P. 2007. Compensation among root classes of *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and Soil* 290:307-321.
- Salleo, S.; Lo, G.M.A.; De Paoli, D. and Zippo, M. 1996. Xylem recovery from cavitation-induced embolism in young plants of *Laurusnobilis*: a possible mechanism. *New Phytologist* 132:47-56.
- Statistical Analysis System (SAS Institute Inc.). 2008. The SAS System Release 9.1 for Windows, SAS Institute.
- Valadez-Gutiérrez, J.; Mendoza-Onofre, L. E.; Córdova-Téllez, L.; Vaquera-Huerta, H.; Mendoza-Castillo, Ma. del C. y García de los Santos, G. 2007. Tamaños de semilla, sustancias vigorizantes y pruebas de vigor en sorgos tolerantes al frío. *Agrociencia* 41:169-179.
- VanBela, A. J. E.; Furcha, A. C. U.; Hafkea, J. B.; Knoblauch, M. and Patrick, J. W. 2011. (Questions)<sup>n</sup> on phloem biology. 2. Mass flow, molecular hopping, distribution patterns and macromolecular signaling. *Plant Science* "Article in Press" Available online 24 May 2011.
- Wilcox, D.; Dove, B.; Mc. David, D. and Greer, D. 2002. Image tool for Windows Version 3.0. The University of Texas, Health Science Center. San Antonio, Texas, U.S.A.
- Wilkinson, S. 2004. Water use efficiency and chemical signaling. *In*: Bacon, M.A. (ed.). *Water use efficiency in plant biology*. Blackwell Publishing, Great Britain. p. 75-112.
- Zimmermann, U.; Schneider, H.; Wegner, L. H. and Haase, A. 2004. Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? *New Phytologist* 162:575-615.