

## Masa área y radical en *Leucaena leucocephala* L. en etapa de vivero con fertilización nitrogenada y fosfatada

E. Cortés Díaz, B. Vázquez Aguilar, P. A. Martínez Hernández<sup>1</sup> y J. L. Zaragoza Ramírez

CRUAN, Universidad Autónoma Chapingo, Mexico  
Recibido Octubre 31, 2011. Aceptado Enero 09, 2012.

### Aerial and root mass in *Leucaena leucocephala* L. grown in nursery with nitrogen and phosphate fertilization

**ABSTRACT.** The objective of the study was to determine above and below ground biomass in *Leucaena* at different rates of N and P fertilization (0, 25 and 50 kg ha<sup>-1</sup> for both elements) in a 3 x 3 factorial arrangement. The experimental design was a completely randomized with 10 replications and the experimental unit was one plant. Fertilization was applied at 80 d and measurements taken at 148 d after the emergence of the first true leaf. Within the first 15 days after fertilization all plants receiving the rate of 50 kg of N ha<sup>-1</sup> died, thus the statistical analysis was applied to a 2 x 3 factorial, with two levels of N (0 and 25 kg ha<sup>-1</sup>) and the three of P. The interaction NXP was not significant (P >0.05) in any of the variables measured. Application of N reduced (P <0.05) root weight, volume, and length and stem weight by 20 to 36%, and increased leaf to stem ratio without effect on leaf weight (P < 0.05). Plants without N showed up to 54 root nodules, and plants with N none. Application of P caused reduction (P < 0.05) of root volume and stem weight increased leaf to stem ratio without effect (P >0.05) on nodulation. The aerial and root biomass of *Leucaena* in the nursery stage did not benefit from N and P fertilization.

**Key words:** Aerial and root mass, Fertilization, Growth, *Leucaena*

**RESUMEN.** La finalidad del estudio fue medir biomasa aérea y radical en *Leucaena* al variar la dosis (0, 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>) de N y P en arreglo factorial 3 x 3. El diseño fue completamente al azar con 10 repeticiones, siendo la unidad experimental una planta. La fertilización se aplicó a los 80 d y las mediciones a los 148 d después de la emergencia de la primera hoja verdadera. Dentro de los 15 d después de aplicar la fertilización murieron todas las plantas con 50 kg de N ha<sup>-1</sup>, por lo que el análisis estadístico se modificó a un factorial 2 x 3, con nitrógeno a dos niveles (0 y 25 kg ha<sup>-1</sup>) y los tres de P ya mencionados. En ninguna de las variables se encontró efecto (P >0.05) de la interacción NXP. Aplicar N redujo (P <0.05) peso, volumen y longitud de raíz y peso de tallo entre 20 y 36%, e incrementó la razón hoja:tallo; sin efecto (P >0.05) en peso de hoja. Las plantas sin N mostraron hasta 54 nódulos radicales contra ninguno en las plantas con N. La aplicación de P ocasionó reducción (P <0.05) en volumen de raíz y peso de tallo e incremento en la razón hoja:tallo, sin efecto (P >0.05) en nodulación. Las masas aérea y radical de *Leucaena* en etapa de vivero no se incrementan con la fertilización nitrogenada o fosfatada.

**Palabras clave:** Biomasa aérea y radical, Crecimiento, Fertilización, *Leucaena*,

### Introducción

Los sistemas agroforestales han sido señalados como una opción de producción con impacto ambiental positivo al promover una mayor biodiversidad (Schroth *et al.*, 2004). Los sistemas silvopastoriles son un tipo de sistema agroforestal que, además de

proveer servicios ambientales (Alonso, 2011), pueden incrementar la producción de forraje para los animales en pastoreo (Inam-ur-Rahim *et al.*, 2011).

*Leucaena leucocephala* es un árbol forrajero de amplio uso en sistemas silvopastoriles cuyo

<sup>1</sup>Autor para la correspondencia, e-mail: arturomrtz@hotmail.com

establecimiento puede ser muy lento y exigir una etapa inicial de en vivero. Sop *et al.* (2011) demostraron la importancia de un crecimiento inicial vigoroso para el éxito del establecimiento de especies leñosas particularmente si las condiciones edáficas son limitantes.

La fertilización nitrogenada y fosfatada de las plantas jóvenes de *Leucaena* en su etapa de vivero

podría favorecer un crecimiento temprano más vigoroso y con ello dar una mayor seguridad de éxito al trasplante (Squire *et al.*, 1987; Segura *et al.*, 2006).

La investigación presente tuvo como objetivo determinar los pesos de la masa aérea y radical en *Leucaena leucocephala* var. Cunningham en fase de vivero al aplicar fertilización nitrogenada y fosfatada.

## Materiales y Métodos

### Tratamientos y diseño experimental

El experimento se realizó en el invernadero de la sección de forrajes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. La fase experimental duró de febrero a julio de 2009. Los tratamientos planeados fueron nueve en arreglo factorial 3 x 3: tres dosis de N (0, 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>) y tres de fósforo (0, 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>).

El diseño experimental fue completamente al azar con 10 repeticiones, una planta en bolsa de polietileno de 20 x 40 cm fue la unidad experimental. Urea y superfosfato triple fueron usados como fuentes de N y P. Para calcular las cantidades de cada fertilizante a aplicar por bolsa, la dosis respectiva se dividió entre 5000, por ser la densidad de 5000 plantas por ha una de las densidades recomendadas en sistemas silvopastoriles.

Los fertilizantes se colocaron en una ranura de 2 cm de profundidad a 5 cm de la base del tallo de la planta, posteriormente se tapó la ranura con el mismo suelo presente en la bolsa, esto último para reducir la pérdida de N por volatilización. La fertilización se hizo a los 80 d después de la aparición de la primera hoja verdadera (DDPHV)

### Manejo de las plantas y suelo

La semilla usada fue de *Leucaena leucocephala* var. Cunningham que es comercialmente la más disponible. Se escarificó la semilla mediante inmersión en agua a 80°C durante 7 min y se colocaron tres semillas por bolsa a 2 cm de profundidad. Las bolsas se identificaron individualmente con un número y se ubicaron al azar sobre las bancas del invernadero, a 20 cm de separación entre bolsas contiguas. Cada bolsa acomodó 3 kg de suelo, tamizado a criba de 1 mm y secado al sol por cinco días consecutivos dentro del invernadero. El secado fue para reducir y homogeneizar al máximo el contenido de humedad.

Al suelo se le hizo un análisis básico de fertilidad que mostró las siguientes concentraciones: pH, 7.88; materia orgánica, 1.75%; nitrógeno total, 39.0 mg kg<sup>-1</sup>; fósforo, 27.81 mg kg<sup>-1</sup> (Olsen); potasio, 802 mg kg<sup>-1</sup>; calcio, 9087 mg kg<sup>-1</sup>; magnesio, 1758 mg kg<sup>-1</sup>; fierro, 6.28 mg kg<sup>-1</sup>; manganeso, 10.77 mg kg<sup>-1</sup>; boro, 1.23 mg

kg<sup>-1</sup>; arena, 44.2%; limo, 30.0%; arcilla, 25.8%; y, con textura de franco. El suelo es rico en materia orgánica y nitrógeno, muy rico en potasio, calcio y magnesio, de pH ligeramente alcalino y textura adecuada para el desarrollo de la masa radical. Por textura y concentraciones el suelo fue de fertilidad buena.

Desde la siembra se revisó diariamente cada bolsa para asegurar un suelo húmedo sin anegamiento y en caso necesario se agregó agua. Toda planta distinta a *Leucaena* fue removida manualmente y 30 d después de la siembra se dejó una sola planta de *Leucaena* por bolsa, procurando dejar la planta de aspecto más vigoroso. Ocurrió un ataque por pulgón (*Aphis nerii*) controlado con paratión metílico (Foley 1.5%) asperjado sobre las plantas.

### Variables medidas y calculadas

Se evaluaron los componentes morfológicos longitud y volumen de raíz y los pesos en base seca de raíz, hojas y tallos; razón hoja: tallo y número de nódulos a los 148 DDPHV.

Para realizar estas determinaciones se cortaron las bolsas y con agua corriente a baja velocidad se lavó el suelo de la bolsa y una vez libre la planta de *Leucaena* se lavó la raíz sobre un tamiz para asegurar quitar todo el suelo adherido sin perder materia radical. Se midió la longitud de la raíz limpia desde la corona hasta el ápice de la raíz principal pivotante. Se determinó el volumen por el desplazamiento de agua al sumergir la masa radical en un vaso de precipitado conteniendo 500 ml de agua y se contó el número de nódulos.

Hechas las mediciones de longitud, volumen y número de nódulos cada planta se separó en raíz, tallo y hojas para pesarlos luego del secado a 60°C por 72 h. La razón hoja:tallo fue la división del peso de hoja entre el peso de tallo.

### Manejo y análisis estadístico de los datos

A 15 d de haber aplicado la fertilización todas las plantas que recibieron 50 kg de N ha<sup>-1</sup> habían muerto. Por lo tanto el análisis de varianza empleó un modelo estadístico de un factorial 2 x 3 en un diseño completamente al azar (Steel y Torrie, 1998), removiendo todos los tratamientos con el nivel máximo de nitrógeno.

Los cálculos se realizaron con GLM del paquete estadístico de SAS (2004). Las medias de tratamientos se determinaron por mínimos cuadrados mediante el procedimiento LSMEANS. En caso de

efecto significativo ( $P < 0.05$ ) de la interacción, las medias de tratamientos se compararon por prueba de 't', las medias de los factores principales se compararon medias por Tukey (Steel y Torrie, 1998).

## Resultados y Discusión

La dosis de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> ocasionó toxicidad y muerte de las plantas, Timmer y Armstrong (1987) explican que la toxicidad y muerte de plantas con la adición de nitrógeno se da por una liberación alta en el suelo del ión NH<sub>4</sub><sup>+</sup> siendo este ión el responsable de la toxicidad.

Los atributos medidos en la masa radical no mostraron efecto ( $P > 0.05$ ) de la interacción nitrógeno X fósforo, pero en todos ellos sí existió efecto ( $P < 0.05$ ) de la adición de nitrógeno. Agregar 25 kg de N ha<sup>-1</sup> ocasionó una reducción en la magnitud de todos los atributos medidos en raíz (Cuadro 1).

La longitud y peso de raíz se redujeron 20 y 35% al agregarse nitrógeno mientras que el volumen de raíz y nodulación mostraron un mayor efecto negativo por dicha adición. El volumen de raíz fue 2.3 veces mayor y con más de 50 nódulos en las plantas sin nitrógeno en comparación a las

plantas con nitrógeno adicional que no mostraron nodulación alguna.

En términos generales agregar nitrógeno promovió plantas de *Leucaena* con una masa radical de desarrollo más pobre especialmente en la formación de nódulos.

La adición de fósforo solamente mostró efecto ( $P < 0.05$ ) sobre el volumen de raíz. Este volumen fue mínimo (27.4 ml) cuando se aplicó la dosis máxima de fósforo, 22% menor al volumen promedio registrado en las plantas que recibieron 0 y 25 kg de P ha<sup>-1</sup>, niveles que no difirieron entre sí. La adición de fósforo no promovió un mayor desarrollo de la masa radical y, al igual que el nitrógeno, cuando registró algún impacto sobre la raíz éste fue negativo, en particular adicionar fósforo promovió la reducción en el volumen de raíz.

En ninguno de los atributos de la parte aérea se registró efecto ( $P > 0.05$ ) de la interacción nitrógeno X

Cuadro 1. Características (Media  $\pm$  error standard) de la masa radical de *Leucaena leucocephala* var Cunningham con diferente fertilización nitrogenada y fosfatada

Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )			Promedio
	0	25	50	
a) Longitud de raíz (cm)				
0	26.3 $\pm$ 3.8	34.0 $\pm$ 5.2	27.0 $\pm$ 3.6	223.9.1a <sup>1</sup>
25	21.7 $\pm$ 3.7	25.3 $\pm$ 2.8	22.0 $\pm$ 2.7	0b
Promedio	24.0	29.6	24.0	
b) Volumen de raíz (mL)				
0	46.0 $\pm$ 6.2	48.3 $\pm$ 7.4	43.3 $\pm$ 4.7	45.9a
25	23.3 $\pm$ 7.6	23.3 $\pm$ 6.9	11.6 $\pm$ 3.8	19.4b
Promedio	34.6a	35.8a	27.4b	
c) Peso de raíz (g)				
	8.0 $\pm$ 1.9	6.3 $\pm$ 1.7	6.7 $\pm$ 1.3	7.0a
	4.6 $\pm$ 1.1	5.0 $\pm$ 0.9	4.0 $\pm$ 0.9	4.5b
Promedio	6.3	5.6	5.3	
d) Número de nódulos por planta				
0	72 $\pm$ 9.7	47 $\pm$ 7.4	41 $\pm$ 8.2	53.3a
25	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0b
Promedio	36.0	23.5	20.5	

<sup>1</sup>La interacción nitrógeno en ninguna de las variables. El nivel de nitrógeno mostró efecto ( $P < 0.05$ ) en todas las variables, y el de fósforo solamente en volumen de raíz.

fósforo. La adición de nitrógeno y fósforo influyó ( $P < 0.05$ ) solamente en el peso de tallo y la razón hoja:tallo (Cuadro 2).

Adicionar nitrógeno o fósforo a cualquiera de los dos niveles evaluados ocasionó reducción en el peso de tallo e incremento en la razón hoja:tallo. Las plantas con nitrógeno registraron 38% menor peso de tallo y 27% mayor razón hoja:tallo que las plantas sin nitrógeno.

En promedio las plantas con fósforo adicional tuvieron tallos 13% más ligeros y una razón hoja:tallo 27% mayor que las plantas sin fósforo adicional. Los dos niveles de fósforo (25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>) no mostraron diferencias ( $P > 0.05$ ) en ninguno de los atributos de masa aérea.

La disminución del peso de tallo sin efecto en el peso de hoja por añadir nitrógeno y fósforo explica el incremento en la razón hoja:tallo. La mejor razón hoja:tallo con la fertilización nitrogenada o fosfatada no necesariamente es un impacto positivo ya que implicó una reducción en la cantidad total de biomasa aérea por reducción en el peso de tallo.

El menor desarrollo de la masa radical observado en las plantas fertilizadas con nitrógeno y fósforo se asoció con reducción en el peso de tallo pero sin efecto en el de hoja. Bloom *et al.* (2002) indican que una masa radical con máxima longitud, ramificación (volumen), peso y presencia de nódulos para el caso de las leguminosas, promueve un crecimiento vigoroso de todos los componentes

aéreos de las plantas al mantener hojas con una alta actividad fotosintetizadora por recibir un suministro oportuno y constante de nutrimentos y agua.

Una solución del suelo rica en minerales promueve masas radicales con excelente longitud, ramificación y peso (Forde y Lorenzo, 2001). Sin embargo, en el presente estudio el enriquecimiento de la solución del suelo con nitrógeno y fósforo no tuvo un impacto positivo en los componentes de la masa radical, y para el caso del nitrógeno el impacto fue negativo.

La disminución en los atributos medidos en la masa radical en respuesta a la adición de nitrógeno podría explicarse con base a lo señalado primero por Zhang *et al.* (1999) y posteriormente por Walch-Liu *et al.* (2006) en el sentido de que la concentración de nitrógeno en la solución que rodea a la raíz tiene un efecto positivo en la ramificación de la misma pero por arriba de un umbral, que varía según la especie, se presenta un efecto negativo del nitrógeno sobre el crecimiento de la raíz, en particular disminuyendo la ramificación. Este efecto negativo podría ser por una retroalimentación negativa dada por la concentración de NO<sub>3</sub> dentro de la planta y mediada por auxinas (Walch-Liu *et al.*, 2006). Posiblemente la riqueza natural en nitrógeno del suelo más el agregado como fertilizante permitió que se alcanzara o superara este nivel de concentración de nitrógeno y de ahí el efecto negativo en el crecimiento de la masa radical de la *Leucaena*.

Cuadro 2. Características (Media  $\pm$  error standard) de la masa aérea de *Leucaena leucocephala* var Cunningham con diferente fertilización nitrogenada y fosfatada.

Dosis de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )			Promedio
	0	25	50	
a) Hoja (g/planta)				
0	6.3 $\pm$ 1.0	5.7 $\pm$ 0.9	6.0 $\pm$ 0.8	6.0
25	4.7 $\pm$ 1.2	5.7 $\pm$ 1.1	5.7 $\pm$ 1.0	5.4
Promedio	5.5	5.7	5.8	
b) Tallo (g/planta)				
0	8.7 $\pm$ 1.4	7.3 $\pm$ 1.9	8.3 $\pm$ 0.9	8.1a†
25	5.7 $\pm$ 0.9	4.7 $\pm$ 1.1	4.7 $\pm$ 0.9	5.0b
Promedio	7.2a	6.0b	6.5b	
c) Razón hoja:tallo				
	0.7 $\pm$ 0.03	0.7 $\pm$ 0.05	0.7 $\pm$ 0.04	0.74b
	0.8 $\pm$ 0.02	1.2 $\pm$ 0.04	1.2 $\pm$ 0.06	1.08a
Promedio	0.75b	0.95a	0.95a	

†En ninguna variable existió efecto ( $P > 0.05$ ) de la interacción nitrógeno  $\times$  fósforo; en peso de hoja no existió efecto ( $P > 0.05$ ) de nitrógeno y fósforo. En tallo y razón hoja:tallo medias en igual columna o hilera con al menos una literal en común no son diferentes ( $P > 0.05$ ).

La inhibición de la formación de nódulos por agregar nitrógeno ha sido señalada por Vance (2002), indicando que el nitrógeno adicional reduce la formación y estimula el aborto de los hilos de infección de la bacteria. Pérez *et al.* (1996) encontraron un efecto positivo en nodulación cuando el nitrógeno adicional fue mínimo y estimuló la formación de raíces. Sin embargo al aumentar la cantidad de nitrógeno adicional el número de nódulos descendió.

La arquitectura de la masa radical mostró poca respuesta a la adición de fósforo, Williamson *et al.* (2001) señalan que el fósforo puede influir sobre la arquitectura del sistema radical siempre que este mineral se encuentre en forma disponible en el suelo, enfatizando que es la disponibilidad más que la concentración del fósforo lo que determinará el posible impacto en raíz. Molina *et al.* (1993) señalan que la poca movilidad del fósforo dentro del perfil del suelo puede ser un factor asociado a reducir la disponibilidad de este mineral hacia la planta, por lo que recomiendan estrategias de aplicación que puedan superar esta limitación en movilidad. Santos y Aguilar (1999) sugieren a partir de la revisión de diferentes investigaciones que una vía para mejorar la disponibilidad de fósforo y con ello influir sobre el crecimiento de la planta es la aplicación foliar.

Navarro y Torres (2005) señalaron que la fertilización hasta con 80 kg ha<sup>-1</sup> de pentóxido de

fósforo no fue suficiente para promover una mayor magnitud en algunos componentes del crecimiento de *Albizia lebbek* debido a la pobre disponibilidad en el suelo de este mineral en parte asociada a la escasa movilidad del mismo, aun en condiciones de suelo con baja concentración de fósforo.

En la presente investigación la pobre influencia positiva del fósforo adicional sobre la arquitectura de la masa radical podría deberse a que la escasa movilidad del fósforo en el suelo no permitió una alta absorción de este mineral en el lapso de los 68 días transcurridos desde la aplicación del fertilizante fosforado a la toma de mediciones. El mayor volumen de masa radical encontrado cuando no se agregó fósforo pudo deberse a lo encontrado por Fernández y Ramírez (2000) que a una menor concentración de fósforo en el suelo, la raíz principal incrementó la formación de pelos radicales en un intento de alcanzar una mayor exploración del suelo.

La fertilización nitrogenada y fosfatada no favorece un mayor desarrollo de las masas radical y aérea en *Leucaena leucocephala* var Cunningham crecida en vivero en un suelo medianamente fértil, por lo que no es una estrategia para fomentar un crecimiento vigoroso en esta etapa. La aplicación de nitrógeno inhibe la formación de nódulos y puede llegar a causar toxicidad provocando la muerte de las plantas.

### Literatura Citada

- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana Ciencia Agrícola* 45:107-115.
- Bloom, A. J., P. A. Meyerhoff, A. R. Taylor, and T. L. Rost. 2002. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. *J. Plant Growth Regulation* 21: 416-431.
- Forde, B. G. and H. Lorenzo. 2001. The nutritional control of root development. *Plant and Soil*, 232:51-68.
- Fernández, S. M. y R. Ramírez. 2000. Efecto de la fuente de fósforo sobre la morfología radical y la acumulación de siete líneas de maíz. *Bioagro*, 12(2):41-46.
- Inam-ur-Rahim, D. Maselli, H. Rueff, and U. Wiesmann. 2011. Indigenous fodder trees can increase grazing accessibility for landless and mobile pastoralists in northern Pakistan. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 1: 1-20.
- Molina, E., R. Salas y A. Castro. 1993. Fertilización fosfórica de la fresa (*Fragaria x ananasa* cv. Chandler) en Fraijanes, Alajuela. *Agronomía Costarricense* 17: 61-66.
- Navarro D. L., y A. Torres. 2005. Efecto de la fertilización fosfórica y cálcica sobre el crecimiento, producción de biomasa y proteína cruda en *Albizia lebbek* cultivada en condiciones de sabana. *Zootecnia Tropical* 23(4):363-372.
- Pérez, J. J., T. Clavero, R. Razz, Z. García, L. González y C. C. de Rincon. 1996. Efecto de la fertilización sobre la nodulación y crecimiento radicular en *Acacia mangium* Willd en condiciones de vivero. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 13: 161-167.
- Santos, A. T. y D. Aguilar. 1999. Fertilización foliar, un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. *Terra* 17:247-255.
- SAS. 2004. SAS/SAT. User's guide. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary, NC. 1-7: 5180.
- Schroth G., G. A. B. Fonseca, C. A Harvey, L. Gascón, H. L. Vasconcelos, and A. M. N. Izac. 2004. Agroforestry and biodiversity conservation in

- tropical landscapes. Island Press, Washington, DC 523 pp.
- Segura, M., A. Castillo y A. Alvarado. 2006. Efecto de la fertilización con fósforo sobre la nodulación de *Frankia* en plantaciones de *Alnus acumata* en andisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(1):43-52.
- Sop, T. K., F. W. Kagambe'ga, R. Bellefontaine, U. Schriedeland A. Thiombiano. 2011. Effects of organic amendment on early growth performance of *Jatropha curcas* L. on a severely degraded site in the Sub-Sahel of Burkina Faso. *Agroforestry Systems* DOI 10.1007/s10457-011-9421-4.
- Squeire, R. D., P. Attiwill M. and F. Neals T. 1987. Effects of changes of available water and nutrients on growth, root development, and water use in *Pinus radiata* seedlings. *Australian Forest Research* 17 (1):99-111.
- Steel, R. G. y J. H. Torrie. 1998. *Bioestadística: principios y procedimientos*. (2ª Ed.) Mc Graw Hill. México. 622 p.
- Timmer, V. R. and G. Armstrong. 1987. Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analyses. *Soil Science Society America Journal* 51: 1082-1086.
- Vance, C. P. 2002. Root-bacteria interactions: symbiotic N<sub>2</sub> fixation. In: Waisel, Y., A. Eshel, and U. Kafkafi. (Eds.) *Plant roots: the hidden half*. (3rd Ed.) Marcel Dekker Inc., New York. p. 839-868.
- Walch-Liu P., I. I. Ivanov, S. Filleur, Y. Gan, T. Remans, and B. G. Forde. 2006. Nitrogen regulation of root branching. *Annals of Botany* 97: 875-881.
- Williamson L. C., S. Ribrioux, A. H. Fitter and H. M. O. Leyder. 2001. Phosphate availability regulates root system architecture in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 126: 875-882.
- Zhang H., A. Jennings, P. Barlow, and B. G. Forde. 1999. Dual pathways for regulation of root branching by nitrate. *Proceedings of the National Academy of Science. Plant Biology* 96: 6529-6534.