

RÉGIMEN DE HUMEDAD, PORTAINJERTO, MANEJO DE SUELO Y PRODUCCIÓN FORZADA EN EL DESARROLLO RADICAL DE DURAZNERO

Soil Water Regime, Rootstock, Soil Management and Forced Production on Root Development of Peach Trees

Nicolás Gutiérrez-Rangel^{1†}, Leonardo Tijerina-Chávez², Alberto Enrique Becerril-Román¹, Alberto Castillo-Morales³, Cándido López-Castañeda¹ y Cecilia Beatriz Peña-Valdivia²

RESUMEN

Se estudió el efecto de portainjerto (Mixquiahuala y Chilcuautila), régimen de humedad (riego y temporal), manejo de suelo (cubierta con estiércol, adición de azufre y testigo), producción forzada (forzado y sin forzar), orientación (norte, sur, este y oeste), distancia del tronco (0.45 y 0.90 m) y profundidad de muestreo (0 a 15, 15 a 30 y 30 a 60 cm), en dos fechas (enero y julio), sobre el desarrollo radical de árboles de durazno 'Flordamex I' de nueve años de edad. Los tratamientos se establecieron en 1997; los muestreos de raíces se efectuaron al final del ciclo de producción forzada de 1997, en enero de 1998, y antes de la detención total del crecimiento vegetativo del ciclo de brotación natural siguiente, en julio de 1998. Todos los factores evaluados afectaron el desarrollo radical del durazno Flordamex I. En general, la mayor densidad de longitud de raíces -DLR- (cm de raíz cm⁻³ de suelo explorado) se encontró cerca del tronco y disminuyó con la distancia, detectándose diferencias significativas para esta tendencia sólo en los lados este y oeste; en particular, de 0 a 15 y de 15 a 30 cm de profundidad. La DLR del lado norte, de 15 a 30 cm de profundidad, resultó significativamente superior a la del resto; hacia el norte y sur, ésta fue mayor en la capa de 15 a 30 cm. En los árboles con estiércol, la DLR fue mayor que la del testigo, a 0.45 m del tronco. De 15 a 60 cm de profundidad, la DLR disminuyó al pasar de riego a temporal. 'Mixquiahuala' tuvo 31% mayor DLR que 'Chilcuautila', en el muestreo de julio.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

[†] Autor responsable (ngrangel@colpos.mx).

³ Departamento de Matemáticas, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Edificio AT-343. 09340 México, D.F.

Recibido: Septiembre de 2002. Aceptado: Julio de 2005.
Publicado en *Terra Latinoamericana* 24: 37-46.

La DLR aumentó de enero a julio en la capa de 15 a 60 cm. Finalmente, en enero, los árboles forzados tuvieron menor DLR que los no forzados pero, en julio, ocurrió lo contrario.

Palabras clave: *Prunus persica*, *Mixquiahuala*, *Chilcuautila*, densidad de longitud radical.

SUMMARY

The effect of rootstock (Mixquiahuala and Chilcuautila), soil water regime (irrigation and rainfed), soil management (manure groundcover, sulfur addition, and control), forced production (forced and not forced), orientation (north, south, east, and west), distance from the trunk (0.45 and 0.90 m) and depth of sampling (0-15, 15-30, and 30-60 cm) at two dates (January and July) on the root development of nine-year-old peach trees cv. Flordamex I was studied. Treatments were established in January 1997; roots were sampled at the end of the 1997 forced production cycle (in January 1998), and before the end of the 1998 vegetative growth cycle, that is in July 1998. All the factors studied affected root development in Flordamex I peach. The greatest root length density -RLD- (root cm³ explored soil cm⁻³) was found near the trunk, and diminished with distance; significant differences for this trend were only found in the east and west sides, particularly at the 0-15 and 15-30 cm soil depths. The RLD from the north side at the 15-30 soil depth was significantly higher than the rest of the combinations. Toward the north and south the RLD was greater in the 15-30 cm soil depth. Trees treated with manure groundcover had a higher RLD than the control only at 0.45 m from the trunk. When changing from irrigated to rainfed conditions, the RLD decreased in the 15-60 cm soil layer. In the July sampling, 'Mixquiahuala' had 31% more RLD than 'Chilcuautila'. In the 15-60 cm soil layer, the RLD increased from January to July. Finally, in January, the forced trees had less RLD than non-forced trees; however, in July the opposite response was found.

Index words: *Prunus persica*, *Mixquiahuala*, *Chilcuautla*, root length density.

INTRODUCCIÓN

La raíz realiza funciones muy importantes para los vegetales, como anclaje, exploración del suelo, absorción y transporte de agua y nutrimentos, síntesis de hormonas, almacenamiento de reservas, interacción con microorganismos, aporte de sustancias a la rizósfera y propagación. Por ello, el mayor conocimiento del sistema radical ayuda a definir mejores sistemas de manejo de huertos (Romo y Díaz, 1985).

Las características del sistema radical, como distribución, densidad, resistencia al transporte de agua y profundidad del enraizamiento, dependen de la constitución genética de cada vegetal, pero varían en función de los factores que alteran el desarrollo de las plantas (Atkinson, 1980; Mitrevski y Ristevski, 1991).

En el sistema radical de las especies de *Prunus* existen más raíces entre 0 y 80 cm de la superficie del suelo, con la mayor cantidad de ellas en los primeros 25 cm (Atkinson, 1980). Sin embargo, Romo y Díaz (1985) observaron, en durazno, pocas raíces entre 0 y 20 cm de profundidad, por efecto de temperaturas de suelo mayores que 30 °C.

Las raíces de árboles adultos de *Prunus* cubren horizontalmente una área de hasta 19 m² (Atkinson, 1980). En durazno, la mayoría de raíces se encuentran a una distancia máxima de la base del tronco de 1 a 1.60 m (Atkinson, 1980). Su densidad disminuye con la profundidad del suelo y la distancia horizontal del tronco (Williamson *et al.*, 1992).

Durazneros injertados sobre distintos portainjertos mostraron diferencias en desarrollo radical, espacio de suelo explorado y densidad de raíces (Massai *et al.*, 1993). En chabacanos injertados sobre portainjertos de semilla, la densidad radical fue mayor cerca del tronco y disminuyó con la distancia (Mitrevski y Ristevski, 1991). Aunque, en general, las raíces se ramifican, extienden y profundizan más en árboles con portainjertos vigorosos (Ibáñez *et al.*, 2000), no siempre el sistema radical de materiales de porte bajo es superficial o pequeño; además, las diferencias en profundidad de enraizamiento se acentúan en suelos con mayor espesor (Atkinson, 1980).

Deficiencias de humedad en el suelo reducen el desarrollo radical y contenido suficiente lo favorece (Romo y Díaz, 1985; Aiken y Smucker, 1996); así, las raíces finas (< 2 mm de diámetro) son más abundantes

con riego que sin riego (Glenn y Miller, 1995); sin embargo, Glenn y Welker (1993) no encontraron relación entre aparición de raíces nuevas y disponibilidad de agua, por la penetración de las raíces más allá de las áreas muestreadas.

La compactación del suelo también restringe el desarrollo radical; al aumentar la firmeza del suelo, la densidad radical de ciruelo disminuyó significativamente; un efecto máximo se detectó a 2.65 MPa (Grimes *et al.*, 1982). En un suelo limitado por una capa de grava a 50 cm de la superficie, el sistema radical se desarrolló superficialmente; la mayor cantidad de raíces con diámetro mayor que 2 mm se encontró entre 20 y 50 cm de profundidad, en tanto que hubo más raíces finas en los primeros 20 cm; horizontalmente, más de 60% de raíces se localizaron entre 0 y 50 cm de distancia de la hilera de árboles (Bargioni y Baroni, 1985).

La longitud de raíces finas del durazno fue menor en suelos cubiertos con césped que en áreas con suelo desnudo; las raíces más gruesas no se afectaron (Glenn y Welker, 1989). De manera similar, en suelos tratados con herbicida, la densidad radical del durazno fue mayor que en áreas con cubierta viva (Parker *et al.*, 1993). La cubierta orgánica, en manzano, favoreció el desarrollo radical al disminuir las variaciones de la temperatura del suelo e incrementar el agua disponible (Ibáñez *et al.*, 2000).

Se observó mayor número de raíces sobre las hileras de árboles de chabacano que en el espacio existente entre ellas (Mitrevski y Ristevski, 1991). En hileras con orientación norte-sur, no hubo diferencias en el sistema radical del durazno entre los lados este y oeste (Bargioni y Baroni, 1985).

Existe un balance antagónico entre desarrollo de raíz y parte aérea, pues, cuando una de ellas crece, la otra detiene su crecimiento (Ibáñez *et al.*, 2000). La producción de fruta también modifica el desarrollo radical; duraznos adultos sin fructificar tuvieron raíces nuevas durante toda la estación de crecimiento; en cambio, árboles en producción mostraron dos períodos de desarrollo, de marzo a junio y de agosto a enero; el desarrollo se relacionó inversamente con la presencia de frutos (Glenn y Welker, 1993). Durante las últimas tres a cuatro semanas del desarrollo de fruto e inmediatamente después de la cosecha, la cantidad de fruta producida afectó en proporción inversa el crecimiento de raíces nuevas (Williamson y Coston, 1989).

Con base en lo anterior, al considerar la relevancia de las raíces en los procesos fisiológicos y productivos

de los árboles, la complejidad de los factores que afectan el sistema radical y la escasez de trabajos de investigación realizados en raíces para los sistemas de producción de México, se llevó a cabo este estudio cuyo objetivo fue determinar el efecto de portainjerto, régimen de humedad, manejo del suelo, producción forzada, orientación, distancia al tronco y profundidad de muestreo, en dos fechas, sobre el desarrollo radical de árboles de durazno cv. Flordamex I.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante 1997 y 1998 en el huerto experimental 'San José' en Montecillo, Texcoco, estado de México (19° 29' N, 98° 54' O, a una altitud de 2250 m). El clima es templado seco con lluvias en verano [C(W₀)(w)b(i)'g] (García, 1981). Datos de 17 años de la Estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados indican que la temperatura media a la intemperie, la precipitación y la evaporación anual son de 15.7 °C, 555 mm y 1693 mm, respectivamente. De la lluvia total, 78% ocurren de junio a octubre. Durante 1997, la temperatura media, la precipitación y la evaporación anual fueron de 16.6 °C, 473.3 mm y 1558 mm, respectivamente. En 1998, los valores registrados fueron 17.8 °C, 506 mm y 1663 mm, respectivamente.

De acuerdo con una compilación de Trinidad-Santos y Rosas (1994), análisis realizados en el sitio experimental indicaron que de 0 a 90 cm de profundidad las características del suelo son: textura variable de franco arenosa a franco arcillo arenosa, ausencia de salinidad (0.2 dS m⁻¹ a 25 °C), pH neutro en la superficie (6.8) pero moderadamente alcalino de 30 a 90 cm de profundidad (7.4), capacidad de intercambio catiónico baja (9.6 cmol_c kg⁻¹), extremadamente pobre en materia orgánica (3.9 mg g⁻¹) y N (0.21 mg g⁻¹), deficiente en Zn (0.22 µg g⁻¹), medio en P (9.0 µg g⁻¹) y Ca (5.7 cmol_c kg⁻¹), adecuado en Fe (7.9 µg g⁻¹), Cu (0.41 µg g⁻¹) y Mn (10.3 µg g⁻¹), y alto en K (0.79 cmol_c kg⁻¹) y Mg (4.2 cmol_c kg⁻¹).

Se utilizaron durazneros 'Flordamex I' de nueve años de edad, injertados en los portainjertos 'Mixquiahuala' y 'Chilcuautla', establecidos en hileras orientadas en sentido norte sur, a 4 x 2 m de separación entre hileras y árboles, respectivamente. Sobre las hileras de árboles existe una franja de terreno de 1 m de ancho (cajete) que se mantiene libre de malezas con herramientas manuales. Los espacios restantes entre hileras permanecen cubiertos con césped nativo de las especies *Cynodon dactylon* y

Pennisetum clandestinum. El sistema de conducción utilizado en los árboles es un 'Tatura' modificado.

Factores de Estudio y Diseño Experimental

Los factores evaluados fueron: a) portainjerto (Mixquiahuala y Chilcuautla), b) régimen de humedad (riego y temporal), c) manejo del suelo (cubierta con estiércol, adición de azufre y testigo -sin estiércol ni azufre-), d) producción forzada (forzado y sin forzar), e) orientación cardinal del punto de muestreo con relación a la base del árbol (norte, sur, este y oeste), f) distancia horizontal del tronco al punto de muestreo (0.45 y 0.90 m), g) profundidad de muestreo (0 a 15, 15 a 30 y 30 a 60 cm), y h) dos fechas de muestreo (enero y julio de 1998).

Estos factores se combinaron en un arreglo factorial; el diseño experimental empleado fue de parcelas subdivididas en bloques al azar con dos repeticiones; el bloqueo se realizó con base en el área transversal del tronco de los árboles, medida 20 cm arriba de la superficie del suelo.

Establecimiento del Experimento

El experimento se inició en enero de 1997; se aplicaron 112 kg de estiércol vacuno (97% de humedad en base seca), en un área de 2 m² sobre el cajete de los árboles correspondientes, para tener una cubierta de aproximadamente 15 cm de espesor; la aplicación se repitió en julio del mismo año y en febrero del siguiente, con la mitad de la cantidad inicial. El azufre se aplicó en enero de 1997, en dosis de 60 g m⁻² sobre una superficie de 2 m², intentando disminuir el pH en 0.5 unidades, en una capa de suelo de 60 cm de espesor (Cal. Fert. Assoc, 1995); la aplicación se repitió en febrero de 1998.

Los riegos a las áreas correspondientes se aplicaron por gravedad, hasta llevar la humedad del suelo a una condición igual o mayor que capacidad de campo (Figura 1), mediante canales distribuidos en 'espinas de pescado', cuando tensiómetros colocados en suelo sin cubierta, a 0.5 m de distancia del tronco y 30 cm de profundidad, indicaban 20 centibares o más. En cada riego, realizado a intervalos promedio de 10 días en los periodos de sequía, se restituía al suelo una lámina de agua de 3 cm aproximadamente.

La inducción de la producción forzada se inició el 28 de agosto de 1997, asperjando al follaje cianamida de hidrógeno (10 mL L⁻¹) con urea sin biuret (30 g L⁻¹) y surfactante con base en éter de

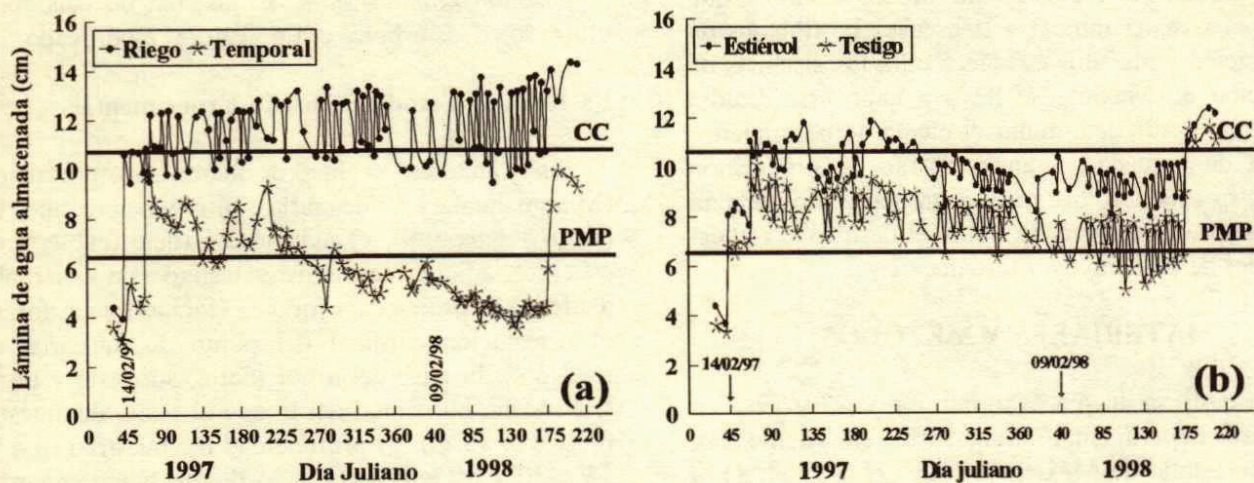


Figura 1. Humedad del suelo en Montecillo, Méx. (de 0 a 60 cm de profundidad) en función del régimen de humedad (a) y manejo de suelo (b) (CC = capacidad de campo; PMP = punto de marchitez permanente).

polietilenglicol, glicol con óxido de etileno y dimetilpolisiloxano (1 mL L^{-1}). El 19 de septiembre, se aplicó sulfato de zinc (30 g L^{-1}) con urea sin biuret (30 g L^{-1}) y el surfactante ya señalado (1 mL L^{-1}) al follaje. El 29 de septiembre, se asperjó thidiazuron -TDZ- (200 mg L^{-1}) mezclado con citrolina emulsificada (20 mL L^{-1}) y ácido giberélico (50 mg L^{-1}) a las ramas defoliadas.

Comportamiento de la Humedad y Temperatura del Suelo

Con base en un seguimiento semanal de la humedad del suelo mediante el método gravimétrico en cada condición de suelo, se estimaron las láminas de agua almacenadas en cada medición, con la expresión:

$$La = \% H \cdot Da \cdot Pr$$

donde: La = lámina de agua almacenada, % H = porcentaje de humedad (en base seca), Da = densidad aparente y Pr = profundidad o espesor del perfil de suelo considerado.

En los primeros 60 cm de profundidad (Figura 1), la lámina de agua almacenada en el suelo, en riego, la mayor parte del tiempo fue superior a la capacidad de campo, en tanto que, en temporal, varió desde este nivel hasta menos del punto de marchitez permanente. En suelo con cubierta de estiércol, la humedad permaneció alrededor de capacidad de campo, mientras que, en el testigo, los niveles variaron entre

capacidad de campo y abajo del punto de marchitez permanente.

De manera similar, se dio seguimiento a la temperatura del suelo mediante geotermómetros de mercurio que se introducían en tubos de PVC colocados, *ex profeso*, a 50 cm de distancia horizontal del tronco. Las mediciones se realizaban semanalmente a las 7:00 y 14:00 h, a 15 y 30 cm de profundidad en cada condición de suelo.

Las menores temperaturas del suelo se presentaron en los primeros y últimos meses del año, mientras que las mayores se registraron en primavera y verano. Las temperaturas fueron mayores a las 14:00 h que a las 7:00 h y en temporal que en riego; entre profundidades y manejo de suelo fue difícil apreciar diferencias. Al observar la dispersión de los valores mínimos y máximos en cada condición, se infiere que las fluctuaciones fueron ligeramente mayores y un poco más evidentes a 15 cm que a 30 cm de profundidad y en temporal que en riego (Figura 2).

Variables Evaluadas

Se determinó la densidad de longitud radical (longitud de raíz cm^{-3} de suelo explorado), mediante la metodología de intersección de Newman (1966), adaptada por Tijerina (1990) y descrita por Ibáñez *et al.* (2000). Las muestras de suelo con raíces se extrajeron en enero y julio de 1998, con una barrena tipo Veihmeyer a 0.45 y 0.90 m de distancia del tronco en cuatro puntos cardinales (N, S, E y O), de 0 a 15, de 15 a 30 y de 30 a 60 cm de profundidad, en

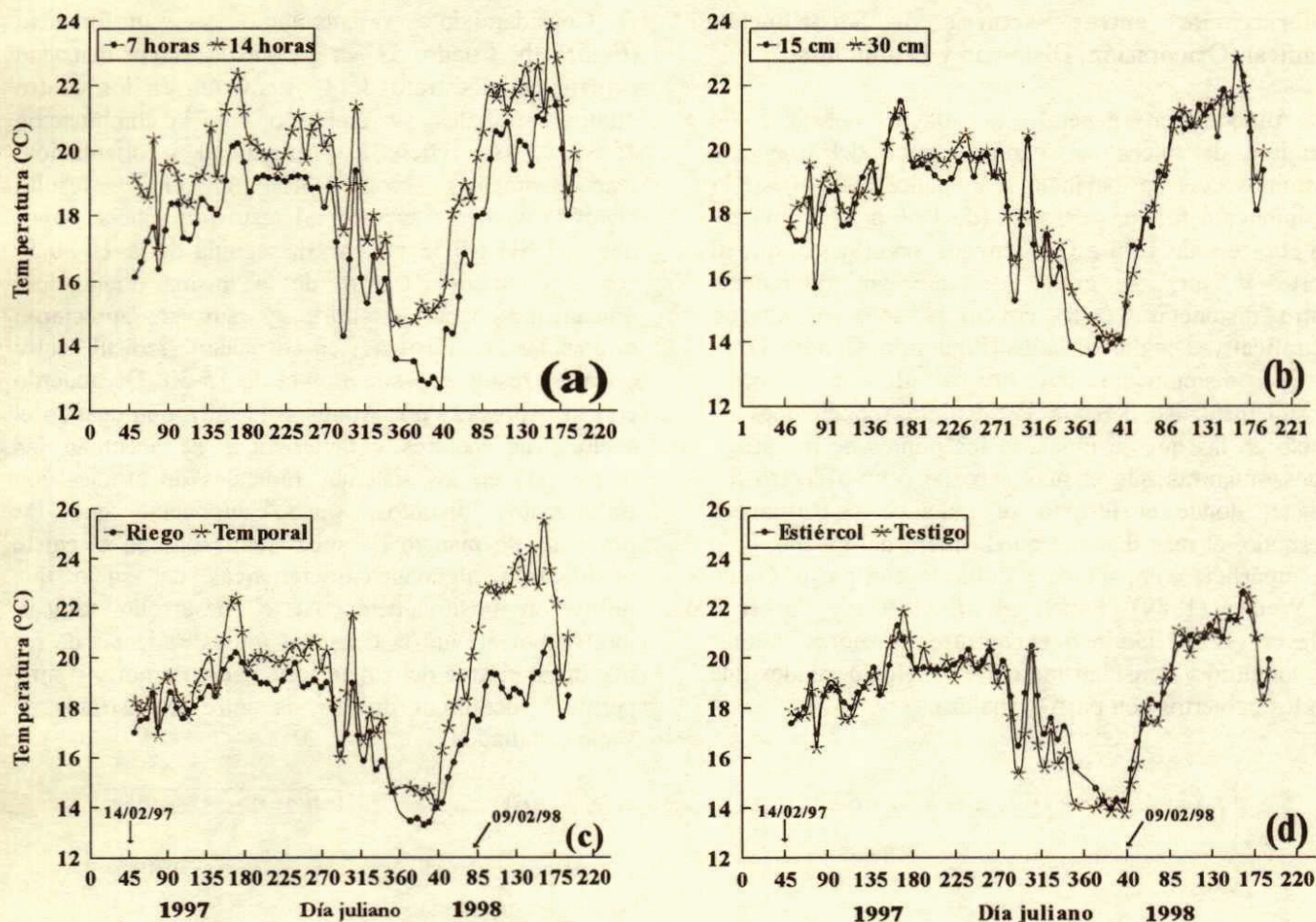


Figura 2. Temperatura del suelo en Montecillo, Méx. en función de la hora de medición (a), de la profundidad del punto de medición (b), del régimen de humedad (c) y del manejo de suelo (d).

cada árbol. Además, por ser unas de las variables más evidentes de la parte aérea, también se obtuvo el rendimiento de los árboles (g de fruta cm^{-2} de área transversal del tronco) en tres ciclos y el incremento de la área transversal del tronco (medida a 20 cm de la superficie del suelo) al final de cada ciclo de producción.

Análisis Estadístico

Se realizaron análisis de varianza con el paquete SAS, Versión 6.12 (SAS Institute, 1989) en una computadora personal, mediante el procedimiento GLM. En los casos que hubo diferencias significativas, las comparaciones de medias se realizaron con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para densidad de longitud radical, resultaron significativos los efectos principales de orientación, distancia, profundidad y fecha de muestreo, más las interacciones orientación por distancia, orientación por profundidad, distancia por profundidad, régimen de humedad por profundidad, manejo de suelo por distancia, portainjerto por fecha de muestreo, profundidad por fecha de muestreo y producción forzada por fecha de muestreo. Debido a que todos los factores significativos como efectos principales también intervienen en las interacciones que resultaron significativas, en el análisis de los resultados sólo se consideran éstas.

Interacciones entre Factores de Distribución Radical (Orientación, Distancia y Profundidad)

Aunque, en general, la mayor densidad de longitud de raíces se encontró cerca del tronco y disminuyó con la distancia, a los lados este y oeste la disminución fue más drástica (de 1.66 a 0.60 cm cm^{-3} en el este y de 1.26 a 0.47 cm cm^{-3} en el oeste) que al norte y sur, al grado de que las diferencias entre distancias ($> 0.4 \text{ cm cm}^{-3}$) sólo resultaron significativas en dichos lados (Figura 3a; Cuadro 1).

La disminución tan brusca al este y oeste posiblemente se debió a las distintas condiciones de suelo en las que se ubicaron los puntos de muestreo, pues, mientras que el más cercano estuvo dentro del cajete, donde el terreno se remueve y permanece desnudo, el más distante quedó fuera del mismo, bajo la superficie compactada y cubierta con pasto; Glenn y Welker (1989), Parker *et al.* (1993) y Parker y Meyer (1996) también encontraron menores valores de longitud y densidad radical en suelos desnudos que en los cubiertos con pasto o maleza.

Considerando orientación y profundidad (Figura 3b; Cuadro 1), en general la mayor densidad ocurrió en el estrato de 15 a 30 cm en los cuatro puntos cardinales, sin embargo, sólo la combinación 15-30 N (se refiere a profundidad y orientación, respectivamente) con 3.1 cm cm^{-3} resultó significativamente superior al resto [diferencia mayor que la DSH (-0.53 cm cm^{-3})], seguida de la 15-30 S, con 2.5 cm cm^{-3} . Dentro de la misma orientación, únicamente hacia el norte y sur se apreciaron diferencias estadísticas en densidad radical entre estratos, resultando superior el de 15-30. De acuerdo con lo expresado por Atkinson (1980), que cuando el suelo tiene mejores características se acentúan las diferencias en los sistemas radicales de árboles con tratamientos distintos, puede suponerse que las prácticas de manejo de suelo realizadas en el cajete modificaron algunas características del suelo que influyeron positivamente en el desarrollo radical, motivo por el cual la densidad radical, además de ser mayor en el área del cajete (orientaciones norte y sur), permitió identificar diferencias entre los estratos de suelo estudiados.

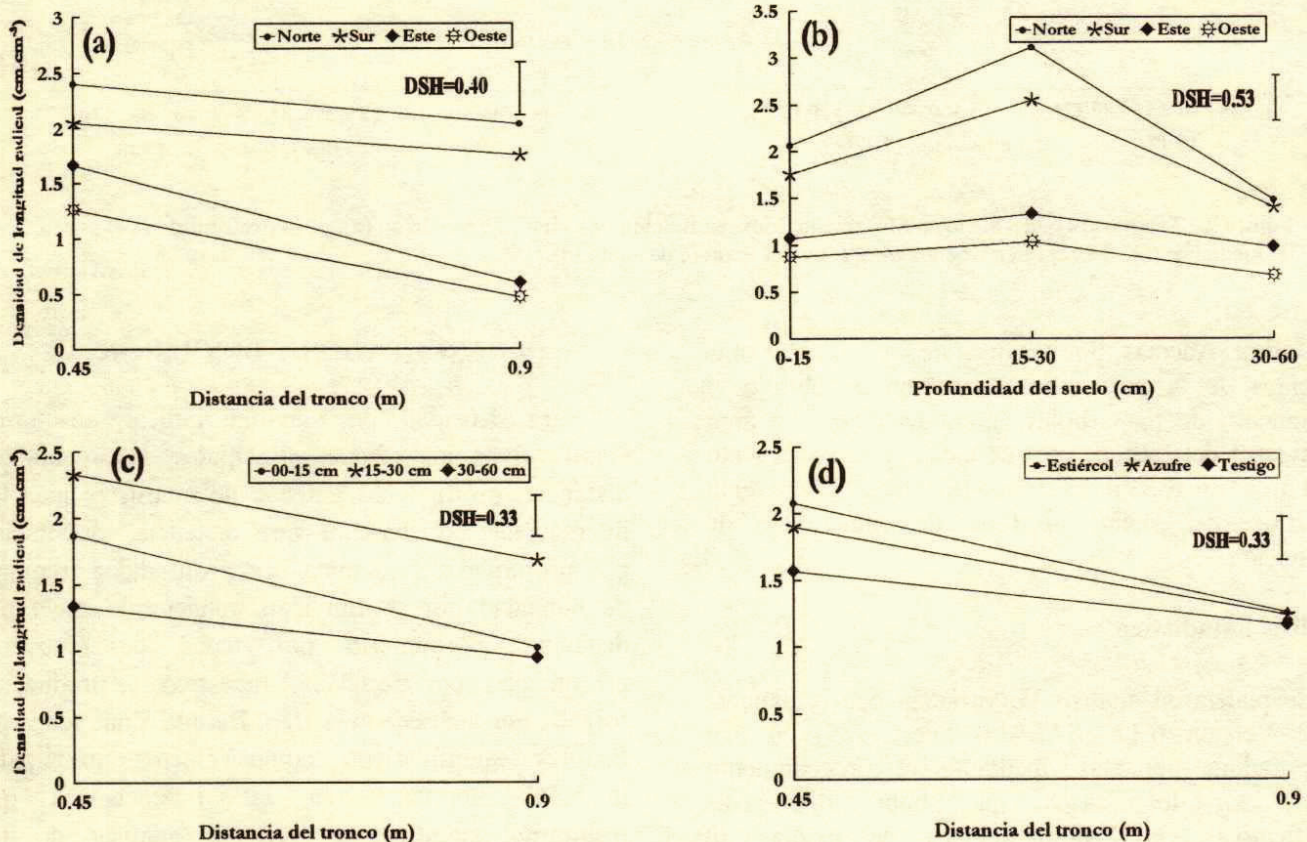


Figura 3. Efecto de las combinaciones de varios factores, por pares: a) orientación y distancia, b) orientación y profundidad, c) distancia y profundidad, y d) distancia y manejo de suelo en la densidad de longitud radical de árboles de durazno 'Flordamex I' (DSH = diferencia significativa honesta, Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 1. Efecto de la combinación de los factores: a) orientación y distancia, y b) orientación y profundidad, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno 'Flordamex I'.

Orientación	Distancia (m)		Profundidad (cm)		
	0.45	0.90	0 a 15	15 a 30	30 a 60
	----- cm cm ⁻³ -----				
N	2.40 a [†]	2.03 abc	2.06 bc	3.11 a	1.48 def
S	2.05 ab	1.75 bcd	1.75 bcd	2.55 b	1.40 defg
E	1.66 bcde	0.60 f	1.07 efghi	1.33 dfg	0.98 efghi
O	1.26 e	0.47 f	0.87 ghi	1.04 efghi	0.68 i
DSH (0.05)		0.40		0.53	
CV		72.9		72.9	

[†]Medias con la misma letra dentro de cada combinación de factores son estadísticamente iguales.

Al tomar en cuenta la distancia y profundidad, se aprecia que la disminución de la densidad de raíces por efecto de la distancia al tronco, resultó mayor en los estratos de 0 a 15 y de 15 a 30 cm. En las dos distancias, la densidad radical es mayor en el estrato de 15 a 30 cm (Figura 3c; Cuadro 2).

Interacciones entre Factores de Distribución Radical, Manejo del Suelo, Portainjerto, Producción Forzada y Fecha de Muestreo

En los árboles con estiércol, la densidad de longitud radical (2.1 cm cm⁻³) fue estadísticamente mayor (DSH = 0.33) que la del testigo (1.6 cm cm⁻³), a 0.45 m del tronco. A 0.90 m, además de que las medias de densidad disminuyeron considerablemente, en las tres condiciones de manejo del suelo éstas resultaron estadísticamente iguales (Figura 3d; Cuadro 2). Como en el caso anterior y otros en los que interviene el factor distancia en alguna combinación de factores, la disminución de la densidad de longitud radical se debió posiblemente a que los puntos de muestreo de los lados este y oeste, ubicados a 0.90 m del tronco, quedaron fuera del área del cajete, en la superficie cubierta con césped, donde hubo menos raíces, lo cual coincide con los resultados de Glen y Welker (1989) y Parker *et al.* (1993).

Considerando régimen de humedad y profundidad (Figura 4a; Cuadro 3), la densidad de longitud radical en los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm disminuyó al pasar de riego a temporal, mientras que, en la capa superficial, la densidad fue similar en las dos condiciones. Las mayores densidades registradas en riego que en temporal coinciden con lo referido por Romo y Díaz (1985), Glenn y Miller (1995) y Aiken y Smucker (1996).

Los valores altos en la densidad de longitud radical del estrato de 0 a 15 cm en temporal se explican con base en las observaciones de Grimes *et al.* (1982) y Bargioni y Baroni (1985), quienes mencionaron que, en suelos compactados o con resistencia mecánica alta, el sistema radical se desarrolla superficialmente. En el presente estudio no se cuantificó la resistencia del suelo, pero la compactación del mismo en condiciones de temporal dificultó tanto la penetración de la barrena durante el proceso de extracción de las raíces, que se requirió tres veces más tiempo que el utilizado en condiciones de riego para obtener el mismo número de muestras.

El comportamiento de la densidad de longitud radical media de los portainjertos en cada fecha de muestreo indicó que, en enero, ambos genotipos

Cuadro 2. Efecto de la combinación de los factores: a) distancia y profundidad, y b) distancia y manejo del suelo, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno 'Flordamex I'.

Distancia	Profundidad (cm)			Manejo del suelo		
	0 a 15	15 a 30	30 a 60	Estiércol	Azufre	Testigo
m	----- cm cm ⁻³ -----					
0.45	1.87 b [†]	2.33 a	1.33 d	2.08 a	1.90 ab	1.57 bc
0.90	1.02 de	1.68 bc	0.94 e	1.25 cd	1.23 d	1.16 d
DSH (0.05)		0.33			0.33	
CV		72.9			72.9	

[†]Medias con la misma letra dentro de cada combinación de factores son estadísticamente iguales.

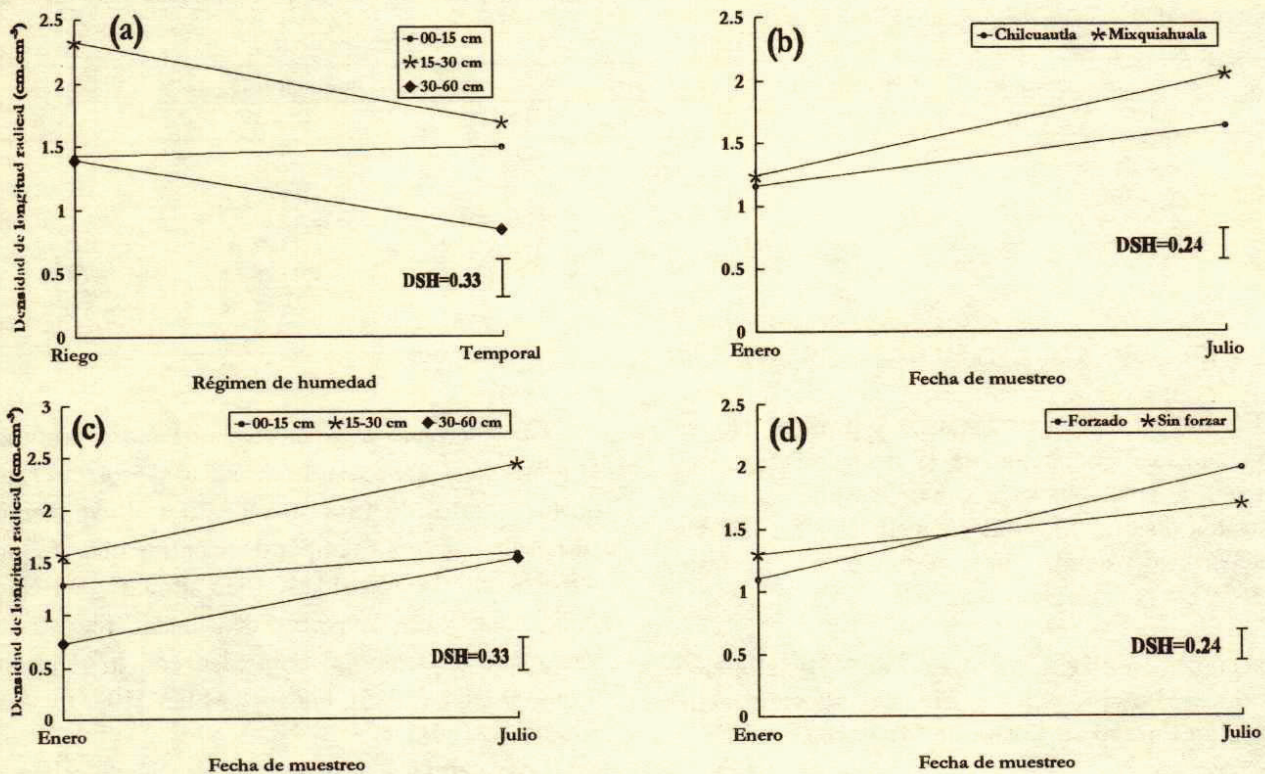


Figura 4. Efecto de las combinaciones de varios factores, por pares: a) régimen de humedad y profundidad, b) portainjerto y fecha de muestreo, c) profundidad y fecha de muestreo, y d) producción forzada y fecha de muestreo, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno cv. Flordamex I (DSH = diferencia significativa honesta, Tukey, $P \leq 0.05$).

tuvieron valores bajos iguales ($< 1.3 \text{ cm cm}^{-3}$); en cambio, en julio, se observó un incremento notable y diferencias significativas a favor de 'Mixquiahuala' (aproximadamente 31% mayor densidad), con 2.1 cm cm^{-3} contra 1.6 cm cm^{-3} de raíz cm^{-3} de suelo de 'Chilcuautila' (Figura 4b; Cuadro 4). Las diferencias entre portainjertos resultaron contrarias a las esperadas de acuerdo con su vigor (Ibáñez *et al.*, 2000), puesto que el área transversal del tronco de

Cuadro 3. Efecto de la combinación de los factores: régimen de humedad y profundidad, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno 'Flordamex I'.

Régimen de humedad	Profundidad (cm)		
	0 a 15	15 a 30	30 a 60
	----- cm cm ⁻³ -----		
Riego	1.39 bcde [†]	2.32 a	1.42 bcd
Temporal	1.49 bc	1.68 b	0.84 f
DSH (0.05)		0.33	
CV		72.9	

[†] Medias con la misma letra dentro de la combinación de factores son estadísticamente iguales.

'Chilcuautila' es aproximadamente 20% mayor que la de 'Mixquiahuala' y su incremento también es mayor (Cuadro 5); no obstante, debe considerarse que Atkinson (1980) indicó que no siempre el sistema radical de árboles de porte bajo es pequeño. Al respecto, pudo observarse que el incremento del área transversal del tronco durante las últimas mediciones también fue mayor en riego que en temporal, en los árboles con estiércol que en los de azufre o testigos, y en los árboles sin forzar que los forzados. El rendimiento, por su parte, también fue mayor en riego que en temporal; en el ciclo posterior al de forzado, disminuyó significativamente por efecto de la producción forzada (Cuadro 5). Es importante señalar que para las variables rendimiento e incremento del área transversal sólo se hace referencia a los efectos principales, porque las interacciones significativas fueron escasas e inconsistentes (sólo tres en distintos ciclos y diferentes variables).

En cuanto a profundidad y fecha de muestreo (Figura 4c; Cuadro 4), en las tres profundidades hubo

Cuadro 4. Efecto de la combinación de los factores: a) fecha de muestreo y portainjerto, b) fecha de muestreo y profundidad, y c) fecha de muestreo y producción forzada, en la densidad de longitud radical de árboles de durazno 'Flordamex I'.

Fecha de muestreo	Portainjerto		Profundidad (cm)			Producción forzada	
	Mixquiahuala	Chilcuautila	0 a 15	15 a 30	30 a 60	Forzado	Sin forzar
			cm cm ⁻³				
Enero	1.24 c [†]	1.16 c	1.29 bcde	1.57 bc	0.72 f	1.01 c	1.3 bc
Julio	2.05 a	1.64 b	1.58 b	2.43 a	1.52 bcd	1.99 a	1.7 b
DSH (0.05)		0.24		0.33			0.24
CV		72.9		72.9			72.9

[†] Medias con la misma letra dentro de cada combinación de factores son estadísticamente iguales.

Cuadro 5. Rendimiento e incremento del área transversal del tronco de árboles de durazno 'Flordamex I' en diferentes ciclos de producción, en función de los factores estudiados.

Factor	Incremento del área transversal			Rendimiento		
	BN97 [†]	PF97	BN98	BN97	PF97	BN98
	cm ²			g cm ⁻²		
Régimen de humedad						
Riego	6.96 a [‡]	11.66 a	18.90 a	239.0 a	113.4 a	7.4 a
Temporal	4.32 b	5.88 b	7.67 b	139.0 b	76.6 b	2.3 b
DSH [§]	2.42	4.01	2.73	62.1	16.7	3.2
Portainjerto						
Mixquiahuala	4.84 a	8.04 a	12.41 a	186.0 a	102.0 a	5.6 a
Chilcuautila	6.44 a	9.51 a	14.15 a	192.0 a	88.0 a	4.0 a
DSH	2.42	4.01	2.73	62.1	16.7	3.2
Manejo de suelo						
Estiércol	5.07 a	9.91 a	16.48 a	177.0 a	102.1 a	5.5 a
Azufre	5.82 a	8.39 a	12.54 ab	200.0 a	94.8 a	5.2 a
Testigo	6.04 a	8.02 a	10.82 b	189.0 a	88.1 a	3.7 a
DSH	2.23	2.93	3.34	27.31	14.9	2.6
Producción forzada						
Forzado	---	8.13 a	10.99 b	---	94.5	2.7 b
Sin forzar	---	9.42 a	15.60 a	---	---	6.9 a
DSH	---	4.01	2.73	---	---	3.2
CV	45.23	37.17	34.05	16.63	17.96	60.38

[†] BN97 = brotación natural 1997, PF97 = producción forzada 1997 y BN98 = brotación natural 1998. [‡] Medias con la misma letra dentro de columna y factor son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$). [§] Diferencia significativa honesta (Tukey, $P \leq 0.05$).

aumento de la densidad de longitud radical de enero a julio, con diferencias significativas en los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm de profundidad, donde ésta pasó de 1.6 a 2.4 y de 0.7 a 1.5 cm de raíz cm⁻³ de suelo, respectivamente; en la capa superficial no se incrementó significativamente la densidad, posiblemente por haber estado más expuesta a los elementos del clima, los cuales aumentaron las fluctuaciones de humedad y temperatura del suelo durante el período de estudio (Figuras 1 y 2) y limitaron el crecimiento radical.

Al obligar a los árboles forzados a brotar y producir dos veces en el mismo año, se modificó el desarrollo radical respecto a los árboles sin forzar. En enero de 1998, los árboles forzados tuvieron menor densidad de longitud radical respecto a los que no se

forzaron (Figura 4d; Cuadro 4); en julio, estos árboles, que produjeron menos en 1998 (Cuadro 5), tuvieron una densidad de 0.3 cm cm⁻³ mayor. El comportamiento anterior se explica, en parte, por lo señalado por Williamson y Coston (1989) y Glenn y Welker (1993), que el desarrollo radical se relaciona inversamente con la producción. Otra razón de que haya habido menos raíces en enero se debe a que durante el invierno las temperaturas son más bajas (Figura 2) y pueden limitar, en cierta medida, el desarrollo radical. Asimismo, en julio era de esperarse aún una alta actividad radical por el aporte de fotosintatos de la parte aérea antes de la brotación, pues gran parte de las reservas del árbol debe estar destinada a propiciar este proceso.

CONCLUSIONES

- Todos los factores evaluados afectaron significativamente el desarrollo radical del durazno Flordamex I.
- En general, la mayor densidad de longitud de raíces se encontró cerca del tronco y disminuyó con la distancia, pero las diferencias sólo resultaron significativas en los lados este y oeste.
- La disminución de la densidad de raíces, por efecto de la distancia al tronco, resultó mayor en los estratos de 0 a 15 y de 15 a 30 cm.
- El estrato de 15 a 30 cm del lado norte, con 3.1 cm de raíz cm⁻³ de suelo resultó significativamente superior al resto. Dentro de la misma orientación, únicamente hacia el norte y sur se apreciaron diferencias significativas entre estratos, resultando superior el de 15 a 30 cm.
- La densidad de longitud radical de los árboles con estiércol (2.1 cm cm⁻³) fue estadísticamente mayor que la del testigo (1.6 cm cm⁻³), a 0.45 m del tronco.
- En los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm, la densidad radical disminuyó al pasar de riego a temporal.
- 'Mixquiahuala' tuvo 31% mayor densidad radical que 'Chilcuautila', en el muestreo de julio.
- La densidad radical aumentó significativamente del muestreo de enero al de julio en los estratos de 15 a 30 y de 30 a 60 cm, ésta pasó de 1.6 a 2.4 y de 0.7 a 1.5 cm de raíz cm⁻³ de suelo, respectivamente.
- En enero, los árboles forzados tuvieron menor densidad de longitud radical que los no forzados pero, en julio, ocurrió lo contrario; en ambas condiciones, la densidad fue mayor en julio que en enero.

LITERATURA CITADA

- Aiken, R.M. y A.J.M. Smucker. 1996. Root system regulation of whole plant growth. *Ann. Rev. Phytopathol.* 34: 325-346.
- Atkinson, D. 1980. The distribution and effectiveness of the roots of tree crops. *Hort. Rev.* 2: 424-490.
- Bargioni, G. y G. Baroni. 1985. The root system of 'St. Julien INRA GF 655/2' as a peach rootstock. *Acta Hort.* 173: 229-235.
- California Fertilizer Association. 1995. Manual de fertilizantes para horticultura. UTHEA. Noriega Editores. México, D.F.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Glenn, D.M. y S.S. Miller. 1995. Growth, yield and water use responses of peach to repeated root pruning in a sub-humid climate. *HortScience* 30: 543-546.
- Glenn, D.M. y W.V. Welker. 1989. Peach root development and tree hydraulic resistance under tall fescue sod. *HortScience* 24: 117-119.
- Glenn, D.M. y W.V. Welker. 1993. Root development patterns in field grown peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 362-365.
- Grimes, D.W., P.L. Wiley y A.B. Carlton. 1982. Plum root growth in a variable-strength field soil. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107: 990-992.
- Ibáñez-Martínez, A., A.E. Becerril-Román, A. Castillo-Morales, R.A. Parra-Quezada y C. López-Castañeda. 2000. Efecto de cubiertas, riego y fertilización foliar en el desarrollo radical del manzano. *Terra* 18: 225-237.
- Massai, R., C. Xiloyannis, D. Piccotino y G. Baroni. 1993. Root system growth and conformation of peach grafted on two rootstocks in high density orchards. *Acta Hort.* 349: 163-167.
- Mitrevski, Z. y B. Ristevski. 1991. Root system of apricot-tree depends from rootstock. *Acta Hort.* 293: 405-409.
- Newman, E.I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3: 139-145.
- Parker, M.L. y J.R. Meyer. 1996. Peach tree vegetative and root growth respond to orchard floor management. *HortScience.* 31: 330-333.
- Parker, M.L., J. Hull y R.L. Perry. 1993. Orchard floor management affects peach rooting. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 714-718.
- Romo, R. y D.H. Díaz. 1985. Root system and nutritional status of peaches under drip or flood irrigation in warm climates. *Acta Hort.* 173: 167-175.
- SAS Institute Inc. 1989. Statistical analysis system. Release 6.12. CD Computer Software. Cary, NC.
- Tijerina-Chávez, L. 1990. Comparación entre el crecimiento de la raíz y el crecimiento de la parte aérea del cultivo de algodón en diferentes regímenes de humedad del suelo. *Terra* 8: 21-35.
- Trinidad-Santos, A. y D. Rosas C. (Compiladores). 1994. Clasificación generalizada de algunas determinaciones químicas de suelo y tejido vegetal, útiles para interpretación de resultados en fertilidad de suelos. Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados. Texcoco, estado de México.
- Williamson, J.G. y D.C. Coston. 1989. The relationship among root growth, shoot growth, and fruit growth of peach. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114: 180-183.
- Williamson, J.G. y D.C. Coston y J.A. Cornell. 1992. Root restriction affects shoot development of peach in a high-density orchard. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117: 362-367.