

# DESARROLLO RADICAL DE PORTAINJERTOS DE MANGO EN FUNCION DEL CULTIVAR INJERTADO, LA EDAD DEL ARBOL Y LA TEXTURA DEL SUELO

ROOT DEVELOPMENT OF *Mangifera indica* L. IN RESPONSE TO GRAFTING,  
AGE OF THE TREE, AND SOIL TEXTURE

Samuel Salazar García<sup>1</sup>, Pedro E. Ramírez Murillo<sup>2</sup> y  
Roberto Gómez Aguilar<sup>3</sup>

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue conocer, mediante excavación, el desarrollo y características de las raíces de portainjertos criollos de mango (*Mangifera indica* L.) originados por semilla e injertados con los cultivares Haden y Tommy Atkins de 4, 6 y 8 años de edad, cultivados en suelos de textura diferente: Franco-arcillo-arenosa (Las Varas, Mpio. de Compostela), arcilla franca (Huaristamba, Mpio. de San Blas) y arcilla (Atonalisco, Mpio. de Tepic). Según los resultados, el mayor vigor en la parte aérea del cultivar Haden se relacionó con un mayor crecimiento longitudinal y en grosor de las raíces. Con la edad, el árbol de mango incrementó su cantidad, grosor y longitud de raíces, tanto en el sentido horizontal como el vertical. En los suelos de textura arcillosa se encontró una menor cantidad de raíces, tendiendo a ser éstas más gruesas pero de menor longitud que en el suelo de textura franco-arcillo-arenosa. El sistema radical siempre se ubicó dentro de la zona de proyección de la copa del árbol. La altura del árbol se mostró como buen indicador de la magnitud y vigor del sistema radical.

## PALABRAS CLAVE ADICIONALES

*Mangifera indica* L., crecimiento radical, Haden, Tommy Atkins.

<sup>1</sup> Investigador del Programa de Frutales Tropicales. Campo Experimental Santiago Ixcuintla-INIFAP-SARH. Apdo. Postal 100. CP 63300 Santiago Ixcuintla, Nay.

<sup>2</sup> Unidad de Laboratorios-SAG. Puebla 20 Nte., 2° piso. CP 63000 Tepic, Nay.

<sup>3</sup> Profesor Investigador. Facultad de Agricultura-Univ. Aut. de Nayarit. Apdo. Postal 49. Xalisco, Nay.

## SUMMARY

The objective of this work was to measure, through excavation, the growth and characteristics of the roots in mango seedling rootstocks (*Mangifera indica* L.), grafted with the cultivars Haden and Tommy Atkins, which were 4, 6 and 8 years old, cultivated in soils of different texture: Sandy-clay-loam (Las Varas, county of Compostela), clay loam (Huaristamba, county of San Blas), and clay (Atonalisco, county of Tepic). From the results, the largest canopy vigor of the cultivar Haden was related with a greater longitudinal growth and thickness of its roots. As the mango tree grew it showed increments in number, thickness and length of roots, both in horizontal and vertical directions. In the clay soils it was found a lesser number of roots, these being thicker but shorter than in the sandy-clay-loam soil. The root system was localized under the canopy projection area. The height of trees was a good indicator of the magnitude and vigor of the root system.

## ADDITIONAL INDEX WORDS

*Mangifera indica* L., root growth, Haden, Tommy Atkins.

## INTRODUCCION

México es el segundo productor mundial de mango, con cerca de 110,000 ha en 1987 (CONAFRUT, 1988), distribuidas tanto en la costa del Pacífico como en la del Atlántico, siendo una fruta muy aceptada por los consumidores nacionales y del extranjero.

En el estado de Nayarit, existen cerca de 15,000 ha establecidas con mango, cuyos principales cultivares en producción son Haden y Tommy Atkins, debido a sus buenas cualidades para el mercado de exportación. En esta región, los portainjertos de mango proceden de semilla de árboles poliembriónicos semidomesticados llamados "criollos".

El estudio de la estructura, fisiología y distribución de las raíces a través del perfil del suelo, permite conocer su capacidad de exploración y su habilidad para aprovechar el agua y los nutrientes disponibles en el suelo (Atkinson y Wilson, 1980). La edad de las raíces es importante en el crecimiento y actividad de las mismas (Atkinson y Wilson, 1979); al respecto, Kramer y Kozlowski (1960) consideran que las raíces jóvenes generalmente son más activas en la absorción de agua y minerales del suelo, aunque las raíces maduras pueden tener una contribución significativa en la absorción total bajo condiciones adversas.

Diversos factores influyen sobre la distribución y desarrollo del sistema radical, como son: textura del suelo, compactación, aireación, humedad, manejo del suelo, características genéticas y otros.

Uno de los primeros estudios en árboles frutales que demostraron la influencia de la textura del suelo en la distribución horizontal y vertical del sistema radical, fue el de Oskamp y Batjer (1932). En general, se puede decir que el sistema radical crece más vigorosamente en los suelos bien aireados (Rusell y Rusell, 1968). A medida que las condiciones se hacen desfavorables las raicillas mueren o detienen su desarrollo, dando por resultado un sistema poco ramificado, con raíces más gruesas y más cortas.

Trabajos realizados en mango muestran una influencia marcada de las propiedades físicas del suelo sobre el crecimiento y distribución de sus raíces a través del perfil (Avilán, 1973; Avilán y Meneses, 1979; Covarrubias y Mata, 1979; Medina, 1982, 1983).

Información generada en algunas zonas de México sobre portainjertos criollos de mango injertados con los cultivares Haden, Kent, Diplomático, Carrie e Irwin, muestra que en suelos de textura arenosa las raíces finas se localizan más superficiales que en suelos arcillosos, concentrándose en los primeros 40 cm del perfil del suelo (Covarrubias y Mata, 1979; Medina, 1982, 1983); en estos trabajos también se ha detectado que los árboles injertados con los cultivares más vigorosos (como Haden y Carrie) han presentado una mayor densidad de raíces.

En la literatura consultada, la caracterización del sistema radical se ha basado en el peso fresco o seco de las raíces, o bien en el número de raíces en estratos de grosor establecidos *a priori*, no encontrándose información sobre aspectos más específicos de la estructura del sistema radical del mango. Por ello, el objetivo de este trabajo fue conocer, mediante excavación, el desarrollo y características de las raíces de portainjertos criollos de mango injertados con los cultivares Haden y Tommy Atkins de 4, 6 y 8 años de edad, cultivados en suelos de diversas texturas.

## MATERIALES Y METODOS

Este trabajo se realizó en varios huertos comerciales de mango en el estado de Nayarit, México, incluyendo a los cultivares Haden y Tommy Atkins, con edades de 4, 6 y 8 años, injertados sobre portainjertos criollos poliembriónicos que se desarrollaban en

suelos con textura diferente: Franco-arcillo-arenosa (Las Varas, Mpio. de Compostela), arcilla franca (Huaristamba, Mpio. de San Blas) y arcilla (Atonalisco, Mpio. de Tepic).

Los huertos de mango elegidos presentaban suelos planos, se manejaban en condiciones de secano (con precipitaciones medias anuales entre 1000 a 1300 mm) y se mantenían libres de malezas mediante control manual.

Para descubrir y evaluar las raíces se hicieron excavaciones en el sector oriente del árbol. El ancho de la excavación fue de 1 m, a una profundidad y distancia en relación al tronco, que varió según el tamaño (longitud) de las raíces del árbol y su distribución vertical y horizontal. En el sistema radical expuesto se evaluó el número, longitud, diámetro y localización de las raíces de primero, segundo, tercero y cuarto orden, así como las menores de 3 mm de diámetro.

El criterio para seleccionar los árboles fue que presentaran un porte similar según su edad. En la parte aérea de los mismos se cuantificó la altura total, el área de la sección transversal del tronco, el número y diámetro de las ramas primarias, y el área de proyección de la copa.

El análisis estadístico fue realizado de acuerdo a un arreglo factorial 2x3x3 (cultivares x edad x textura del suelo), bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por un árbol.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Vigor de los árboles

Se detectó que los árboles más altos se ubicaron en el suelo franco-arcillo-arenoso

y los de menor altura en suelos con arcilla franca y arcilla, que el cultivar Haden resultó con mayor altura (5.6 m) que el cultivar Tommy Atkins (5.0 m), y que a mayor edad los árboles fueron más altos (Cuadro 1).

En cuanto al área de la sección transversal del tronco y el diámetro de las ramas primarias, no se observaron diferencias significativas entre las diferentes texturas del suelo, pero sí entre cultivares y entre edades, siendo Haden el que presentó mayores valores que el cultivar Tommy Atkins y los árboles de mayor edad superaron a los de menor edad (Cuadro 1).

El número de ramas primarias no mostró diferencias estadísticas entre los dos cultivares, posiblemente debido a la poda de formación (en vivero y en campo) realizada en la etapa joven de los árboles. Tampoco el área de proyección de la copa resultó diferente entre las tres texturas de suelo, ni entre cultivares y edades de los árboles.

### Características del sistema radical de los portainjertos

**Cantidad de raíces.** La textura del suelo y el cultivar de mango no influyeron significativamente en el número de raíces de primero, segundo, tercero y cuarto orden; sin embargo, se observó un aumento en el número de raíces de segundo a cuarto orden conforme se incrementó la edad de los árboles (Cuadro 2). Las raíces con diámetro menor de 3 mm fueron más abundantes en el suelo de textura franco-arcillo-arenosa y más escasas en el suelo arcilloso (Cuadro 2), pero este tipo de raíces tendió a disminuir conforme aumentó la edad de los árboles. La cantidad total de raíces resultó inferior en el suelo arcilloso y superior en el suelo con textura franco-arcillo-arenosa (Cuadro 2), lo

Cuadro 1. Vigor de árboles de mango en función del cultivar injertado, de la edad del árbol y de la textura del suelo.

	Altura total (m)	Sección transversal del tronco (cm <sup>2</sup> )	Diámetro de ramas primarias (cm)
<b>Textura del suelo:</b>			
Franco-arcillo-arenosa	5.8 a <sup>1</sup>	400 a	13.5 a
Arcilla	5.2 b	489 a	13.3 a
Arcilla-franca	5.1 b	494 a	12.1 a
<b>Cultivar:</b>			
Haden	5.6 a	566 a	14.6 a
Tommy Atkins	5.0 b	335 b	11.5 b
<b>Edad (años):</b>			
4	3.2 c	115 c	9.1 c
6	5.0 b	285 b	11.2 b
8	7.2 a	870 a	18.6 a

<sup>1</sup> Medias con la misma letra en columnas, para cada factor, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P=0.05).

Cuadro 2. Número de raíces en portainjertos criollos de mango cultivados en suelos de textura diferente, injertados con dos cultivares y tres edades del árbol.

	Número promedio de raíces					Total/árbol <sup>2</sup>
	Orden: Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	< 3mm <sup>1</sup>	
<b>Textura del suelo:</b>						
Franco-arcillo-arenosa	4.2 a <sup>3</sup>	10.3 a	5.5 a	1.4 a	310 a	341.7 a
Arcilla	4.2 a	4.2 a	8.8 a	3.6 a	175 b	201.2 b
Arcilla-franca	3.9 a	7.7 a	8.4 a	5.0 a	203 ab	228.4 ab
<b>Cultivar:</b>						
Haden	4.0 a	8.7 a	7.9 a	4.2 a	267 a	291.4 a
Tommy Atkins	4.2 a	9.4 a	7.0 a	2.6 a	203 a	226.8 a
<b>Edad (años):</b>						
4	3.9 a	5.4 b	1.8 b	0.2 b	294 a	121.2 b
6	4.0 a	10.1 a	8.1 a	2.5 ab	274 a	298.5 a
8	4.3 a	11.2 a	11.4 a	6.6 a	110 b	327.3 a

<sup>1</sup> Diámetro

<sup>2</sup> En la sección excavada.

<sup>3</sup> Medias con la misma letra en columnas, para cada factor, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P=0.05).

cual coincide con lo encontrado por Castle (1978) en cítricos, y por Covarrubias y Mata (1979) en mango.

**Longitud de las raíces.** La longitud de los diferentes tipos de raíz no resultó afectada por la textura del suelo (excepto en raíces de segundo orden) ni por el cultivar injertado (Cuadro 3). En longitud total de raíz el cultivar Haden superó claramente al Tommy Atkins; esta superioridad del cv. Haden también fue encontrado por Medina (1983), en Tecomán, Colima. El suelo arcilloso resultó con la menor longitud total de raíces (Cuadro 3), lo que se atribuye a su mayor resistencia a la penetración radical, sobre todo durante los meses de sequía, y a la deficiencia de oxígeno durante el período de lluvias (Taylor, 1974).

Los árboles de cuatro años de edad tuvieron la menor longitud de raíces (Cuadro 3), en comparación con los de 6 y 8 años, estimándose un promedio de 4.3 m de crecimiento radical por cada año de edad hasta los 4 años; esta relación se incrementó a casi 12 m a los seis años y al parecer se mantiene en esta proporción en los árboles de 8 años.

**Diámetro de las raíces.** Según los datos obtenidos, la textura del suelo no influyó significativamente en el grosor de las raíces de mango; según Rusell y Rusell (1968), la textura arcillosa promueve un mayor grosor de raíces, tendencia que aquí se aprecia en los promedios generales de tipo de suelo (Cuadro 4). El vigor del cultivar injertado sí afectó el diámetro de los diferentes tipos de raíz evaluados, ya que al igual que en el

Cuadro 3. Efecto del cultivar injertado, la edad del árbol y la textura del suelo sobre la longitud de diferentes tipos de raíz en portainjertos criollos de mango.

Orden:	Longitud promedio (cm)					Longitud/ total (m)
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	< 3mm <sup>1</sup>	
<b>Textura del suelo:</b>						
Franco-arcillo-arenosa	52.1 a <sup>2</sup>	79.2 a	43.4 a	13.1 a	17.8 a	69.9 a
Arcilla	49.1 a	60.2 ab	59.8 a	43.7 a	20.2 a	49.9 b
Arcilla-franca	44.9 a	52.3 b	50.3 a	58.3 a	19.6 a	52.8 a
<b>Cultivar:</b>						
Haden	50.3 a	70.5 a	57.0 a	38.1 a	21.8 a	72.3 a
Tommy Atkins	46.3 a	57.6 a	43.6 a	37.1 a	17.0 a	46.0 b
<b>Edad (años):</b>						
4	37.5 a	38.7 b	19.0 b	3.7 bc	12.3 b	17.4 c
6	55.4 a	73.8 a	53.4 a	24.9 b	20.4 ab	70.4 b
8	49.3 a	76.7 a	70.6 a	79.2 a	24.4 a	95.8 a

<sup>1</sup> Diámetro

<sup>2</sup> Medias con la misma letra en columnas, para cada factor, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P=0.05).

vigor de la copa del árbol (Cuadro 1), el cultivar Haden fue el que mostró un desarrollo radical más vigoroso (Cuadro 4). Como era de esperarse, el diámetro promedio de las raíces se incrementó significativamente con la edad de los árboles.

**Localización de las raíces.** En las condiciones en que se realizó este estudio, la extensión máxima del sistema radical se definió por la presencia de raíces menores de 3 mm de diámetro. En árboles de cuatro años la mayor cantidad de este tipo de raíces se localizó a 86 cm de distancia del tronco y a 38 cm de profundidad. Dichas cifras se incrementaron a 164 y 65 cm en árboles de 6 años, y a 193 y 74 cm de distancia y profundidad, respectivamente, a los ocho

años de edad. En los árboles evaluados, el sistema radical siempre se ubicó dentro de la zona de goteo del árbol, situación que puede ser atribuida a que durante los meses de sequía (noviembre a mayo), esta zona del suelo ofrece mejores condiciones de humedad para el crecimiento y mantenimiento de las raíces. Resultados similares han sido encontrados en mango por Avilán (1973), Avilán y Meneses (1979), Covarrubias y Mata (1979) y Medina (1982). La textura del suelo y el cultivar injertado no afectaron significativamente las distancias y profundidades máximas de localización de las raíces menores de 3 mm, aunque se apreciaron tendencias similares a las mencionadas en las variables relativas al tamaño de la raíz.

Cuadro 4. Efecto del cultivar injertado, edad del árbol y la textura del suelo sobre el diámetro de diferentes tipos de raíz en portainjertos criollos de mango.

	Diámetro promedio (cm)				Promedio <sup>1</sup> gral. (cm)
	Orden: Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	
<b>Textura del suelo:</b>					
Franco-arcillo-arenosa	4.9 a <sup>2</sup>	2.1 a	1.0 a	0.2 a	2.05 a
Arcilla	4.5 a	2.6 a	1.6 a	0.6 a	2.32 a
Arcilla-franca	5.0 a	2.3 a	1.2 a	0.6 a	2.27 a
<b>Cultivar:</b>					
Haden	5.8 a	2.8 a	1.5 a	0.5 a	2.65 a
Tommy Atkins	3.9 b	1.8 b	1.0 b	0.5 a	1.80 b
<b>Edad (años):</b>					
4	2.1 c	0.8 c	0.36 b	0.5 b	0.83 c
6	4.5 b	2.1 b	0.93 b	0.4 b	1.98 b
8	7.3 a	3.6 a	2.20 a	1.0 a	3.52 a

<sup>1</sup> No incluye las raíces con diámetro menor de 3 mm.

<sup>2</sup> Medias con la misma letra en columnas, para cada factor, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P=0.05).

### Interacciones entre los factores estudiados

De las variables de vigor estudiadas, la altura del árbol y el área de la sección transversal del tronco presentaron el mayor número de interacciones relacionadas con la textura del suelo, con el cultivar injertado y con la edad del mismo (Cuadro 5). Las variables indicadoras del tamaño de la raíz presentaron menos interacciones, y éstas se refirieron al diámetro de las raíces de segundo y tercer orden, así como a la distancia y profundidad máxima de localización de los diversos tipos de raíces.

### Análisis de Correlación

La altura del árbol fue la variable de la parte aérea que mejor se asoció con las diferentes características de la raíz (Cuadro 6), destacando la correlación positiva existente entre altura del árbol y el diámetro de las raíces de primero ( $r=0.76^{**}$ ), segundo ( $r=0.82^{**}$ ) y tercer orden ( $r=0.76^{**}$ ), así como con el número total de raíces ( $r=0.59^{**}$ ).

Cuadro 5. Interacciones significativas detectadas para diversas características del vigor de la parte aérea y del sistema radical de árboles de mango injertados con los cultivares Haden y Tommy Atkins sobre portainjerto criollo, de diferentes edades y cultivados en tres texturas de suelo.

Característica	Textura-cultivar	Textura-edad	Cultivar-edad	Suelo-cultivar-edad
Altura del árbol	*		*	**
Area secc. transv. tronco	**	**	**	**
Diámetro ramas primarias		*		
Diámetro raíces 2o. orden		*	*	
Dist. máx. localiz. raíces 2o. or.		*		
Diámetro raíces 3er. orden			**	
Prof. máx. localiz. raíces 4o. or.				*
Porf. máx. localiz. raíces < 3 mm		*		

\* P=0.05

\*\* P=0.01

Las correlaciones significativas detectadas (Cuadro 7) entre las diferentes características de la raíz muestran una fuerte asociación positiva entre tamaños y vigor de las raíces en tales posiciones y órdenes, así como entre diferentes medidas del vigor, lo que sugiere que el vigor de la raíz puede ser estimado con cualquiera de esas variables y en cualquiera de los tipos de raíz.

### CONCLUSIONES

El cultivar Haden mostró mayor crecimiento en su parte aérea, en relación al cultivar Tommy Atkins, lo que se atribuye a su mayor volumen radical.

Con la edad, las raíces del mango crecen en cantidad, grosor y longitud, así como en un mayor volumen de exploración.

En los suelos arcillosos se encontró una menor cantidad de raíces, tendiendo a ser éstas más gruesas y de menor longitud que en el suelo de textura franco-arcillo-arenosa.

Cuadro 6. Correlaciones significativas entre altura del árbol y algunas características de raíces en portainjertos criollos de mango injertados con los cultivares Haden y Tommy Atkins.

Variable correlacionada	r
Diámetro de raíces de 1er. orden	0.76 **
Número de raíces de 2o. orden	0.43 **
Longitud de raíces de 2o. orden	0.64 **
Diámetro de raíces de 2o. orden	0.82 **
Número de raíces de 3er. orden	0.50 **
Longitud de raíces de 3er. orden	0.64 **
Diámetro de raíces de 3er. orden	0.76 **
Número de raíces de 4o. orden	0.45 **
Longitud de raíces de 4o. orden	0.43 **
Diámetro de raíces de 4o. orden	0.55 **
Número de raíces < 3mm	0.57 **
Longitud media de raíces < 3mm	0.39 *
Número total de raíces	0.59 **

\* P=0.05

\*\* P=0.01

Cuadro 7. Correlaciones significativas entre características radicales de portainjertos criollos de mango injertados con los cultivares Haden y Tommy Atkins.

Variables	r
Diámetro de raíces de 1er.orden - Diámetro de raíces de 2o.orden	0.85 **
Diámetro de raíces de 1er.orden - Diámetro de raíces de 3er.orden	0.76 **
Diámetro de raíces de 2o.orden - Longitud de raíces de 3er.orden	0.73 **
Diámetro de raíces de 2o.orden - Diámetro de raíces de 3er.orden	0.87 **
Diámetro de raíces de 3er.orden - Longitud de raíces de 3er.orden	0.73 **
Diámetro de raíces de 3er.orden - Diámetro de raíces de 4o.orden	0.74 **
Diámetro de raíces de 4o.orden - Longitud de raíces de 4o.orden	0.74 **

\*\* P=0.01



El sistema radical siempre se ubicó dentro de la zona de proyección de la copa del árbol.

La altura del árbol puede ser usada como un buen indicador de la magnitud y vigor del sistema radical en la combinaciones Haden/criollo y Tommy Atkins/criollo (cultivar injertado/portainjerto).

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Raúl Mosqueda Vázquez, Investigador del Programa de Frutales Tropicales del INIFAP-SARH, los comentarios y sugerencias hechos al manuscrito.

### BIBLIOGRAFIA

- Atkinson, D. and S.A. Wilson. 1979. The root soil interface and its significance for fruit tree roots of different ages. In: J.L. Harley, and R.S. Rusell (eds.). The Soil Root Interface. Academic Press. London. pp. 259-271.
- \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. 1980. The growth and distribution of fruit tree roots and some consequences for nutrient uptake. In: D. Atkinson, J.E. Jackson, R.O. Sharples, and W.M. Waller (eds.). The Mineral Nutrition of Fruit Trees. Butterworths. Boroagh Geenalk. pp. 259-272.
- Avilán R., L. 1973. Sistema radicular del mango (*Mangifera indica* L.) en un regosol aluvial. Agronomía Tropical (Venezuela) 24(1): 3-20.
- \_\_\_\_\_ y L. Meneses. 1979. Efecto de las propiedades físicas del suelo sobre la distribución de las raíces de mango (*Mangifera indica* L.). Turrialba 29(1):117-122.
- Castle, W.S. 1978. Citrus root system: their structure, function, growth, and relationships to tree performance. Proc. Int. Soc. Citriculture. pp. 62-69.
- CONAFRUT. 1988. Inventario Frutícola 1987. Comisión Nacional de Fruticultura, SARH. México, D.F.
- Covarrubias A., L. y J. Mata Beltrán. 1979. Estudio de la distribución de raíces de árboles de mango. Fruticultura Mexicana 9:1-6.
- Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski. 1960. Physiology of Trees. Mc Graw Hill. New York.
- Medina U., V.M. 1982. Estudio de la distribución radical de tres cultivares de mango en un suelo migajón arcilloso de la Huerta, Jalisco, México. Proc. of the Tropical Region Amer. Soc. Hort. Sci. 29th. Congress. 18-23 de octubre/1981. Campinas-SP-Brasil 25:323-328.
- \_\_\_\_\_ 1983. Distribución de raíces en mango criollo (*Mangifera indica* L.) injertado con tres cultivares diferentes. Agric. Tec. Méx. 9(2):161-178.
- Oskamp, J. and L.P. Batjer. 1932. Size, production and rooting habit of apple trees. Monroe Country. Cornell Univ. Agr. Sta. Bull. 500. p. 45.
- Rusell, E.J. y W.E. Rusell. 1968. Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas. 4a. edición. Ediciones Aguilar, S.A. Madrid, España. pp. 518-535.
- Taylor, H.M. 1974. Root behavior as affected by soil structure and strenght. In: Carson, E.W. (ed.). The plant root and its environment. University Press of Virginia, USA. pp 271-291.