

Crecimiento y Desarrollo de la Lima Ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, en Suelos con Limitaciones por Profundidad Efectiva, en un Bosque Seco Tropical

Growth and Development of Lime (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahiti, in Soils with Limitations by Effective Depth in a Tropical Dry Forest

Gabriel Fernando Ochoa Agudelo¹; Enrique Martínez Bustamante²;
Ramiro Ramírez Pisco³ y Guillermo Correa Londoño⁴

Resumen. Se evaluó la evolución de la biomasa, la distribución diferencial de ésta entre los órganos y algunos parámetros del crecimiento y desarrollo, de la lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, injertada sobre Carrizo y Kryder. El cultivo se estableció en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (PE) entre 10 y 20 cm; las evaluaciones se realizaron a los 24, 32 y 39 meses después del trasplante. Se debe tener presente que el crecimiento de las raíces está condicionado a los atributos edáficos en donde se establecen los cultivos, en especial los perennes, en cuyo caso existen requerimientos mínimos de PE para el adecuado desarrollo de los árboles; se establecieron diferencias entre la biomasa acumulada, como consecuencia de ésta limitación. Al comparar el crecimiento de las plantas con la PE se evidenció que los individuos que crecieron en suelos con PE de 20 cm, presentaron un desarrollo relativamente semejante a plantaciones sin limitaciones de este tipo; mientras que, en suelos con PE inferior a 10 cm, la respuesta fue 3 a 5 veces menor.

Palabras clave: Fitomasa, desarrollo radical, entorno ambiental productivo, fruticultura.

Abstract. It was evaluated the evolution of biomass, its differential distribution among the organs and some parameters of growth and development of acid lime (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahiti, grafted on Carrizo and Kryder patterns. The plants were established in soils with limitations by its effective depth (ED), which ranged between 10 and 20 cm. Assessments were effectuated at 24, 32 and 39 months after transplantation. It is must to keep in mind that root growth is conditioned to the soil attributes of the site where the crops are established, especially in the case of perennials, which have requirements of minimum PE in order to achieve an adequate development. Differences were established between biomass accumulated as a result of the limitation in effective depth. When comparing the growth of plants with ED, we found that the individuals that grew up in soils with ED greater than 20 cm presented a development relatively similar to plantations without such constraints, while in soils with ED less than 10 cm, his response was 3 to 5 times lower.

Key words: Phytomass, root development, productive environmental setting, fruit crops.

La producción mundial de cítricos se desarrolla en cuatro millones de hectáreas, cultivadas en 108 países, que aportan 76 millones de toneladas. Los principales productores son China, Brasil, Estados Unidos, México, India, España, Italia, Irán, Nigeria, Egipto, Turquía y Argentina. En Colombia, después del banano, los cítricos son los frutales de mayor importancia económica (FINAGRO, 2009).

Según Asocítricos y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005), en Colombia se cultivan alrededor de 57.700 ha de cítricos, el área plantada en el 2005 superó en un 110% la de 1993, con

rendimientos que alcanzan las 16,1 t ha⁻¹. Sin embargo, en los países más destacados esta supera las 30 t ha⁻¹; es probable que la diferencia pueda superarse a partir de medidas formuladas con base en un conocimiento de la ontogenia, fenología, nutrición, relaciones hídricas y su efecto sobre diversos procesos fitofisiológicos, en los distintos ambientes del país.

Los cítricos logran un desarrollo óptimo en condiciones tropicales por debajo de 1.800 msnm, entre las latitudes 40° N y 40° S, con temperatura entre 23 y 30 °C, pero pueden tolerar de 13 a 38 °C. (Orduz, 2007; Corpoica, 2003); el árbol está compuesto por una

¹ Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <gfochoa@unal.edu.co>

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <enmartin@unal.edu.co>

³ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. A.A. 3840. Medellín, Colombia. <rramirez@unal.edu.co>

⁴ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias Agrarias. Departamento de Ciencias Agronómicas. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <gcorrea@unal.edu.co>

Recibido: Diciembre 06 de 2011; aceptado: Marzo 15 de 2012.

parte superior, o cultivar (naranja, mandarina o limas ácidas) y la inferior, que es el patrón, que conforma el sistema radical del árbol; al injertar se aprovechan las características deseables de los cultivares y patrones, en lo relacionado con precocidad de producción, calidad de la fruta, fitosanidad y adaptación a condiciones edáficas (Orduz, 2007).

Conforme a Cañizares y Sanabria (2007) y Amórtegui (2001), el desarrollo del sistema aéreo de los cítricos no es continuo durante el período vegetativo; por tanto, la brotación no se produce en fechas fijas y varía de un año a otro, según el cultivar, y acorde a las condiciones climáticas. No obstante lo anterior, Franco (2004a, 2004b) encontró que la naranja Frost Valencia, en el bosque seco tropical, mostró un crecimiento vegetativo continuo durante todo el año, con gran emisión de follaje entre enero y agosto.

Por otra parte, el principal lugar de absorción de nutrientes a través de la raíz está antes del ápice, donde se forman los pelos absorbentes y la epidermis todavía no está suberificada (Epstein y Bloom, 2005); además, el crecimiento de las raíces está condicionado a los atributos edáficos, principalmente a las características físicas del suelo en donde se establecen los cultivos. Ramírez y Salazar (2005), Ramírez y Zapata (2006) y Ramírez y Leiva (2009), han demostrado que la profundidad, la resistencia a la penetración y la agregación afectan el crecimiento y la forma de las raíces, en especial los perennes en cuyo caso existen requerimientos mínimos de profundidad efectiva (PE) para el adecuado desarrollo de los árboles.

En consecuencia, las propiedades físicas, químicas, biológicas y mineralógicas del suelo, determinan, entre otras, su productividad (Ramírez, 2011; Ramírez y Leiva, 2009). La importancia de las propiedades físicas ha sido subvalorada, tal vez a causa de la sobreestimación del componente químico (Ramírez, 2011). En los suelos tropicales, como factores limitantes de la producción está la deficiencia de agua, de oxígeno en el aire del suelo y el desarrollo radical limitado; todo ello influenciado por el sistema poroso del suelo (Almansa, 2008).

Según Avilán (1986), los cítricos no alcanzan un crecimiento y producción máxima cuando el volumen de suelo para el desarrollo radical es limitado, aun cuando los demás factores ambientales actúen en forma óptima; en consecuencia, es esencial la PE.

Carrasco *et al.* (2010) y Avilán (1986) definen PE como la capa de suelo donde pueden desarrollarse las raíces, sin encontrar obstáculos naturales como piedras, capas freáticas o compactación de suelos.

El desarrollo radical depende de factores como: tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes, humedad, temperatura, aireación y pH (Amórtegui, 2001; Ramírez y Zapata, 2006); según lo expresado por Alves *et al.* (2010) y León *et al.* (2007), los cítricos se adaptan a una amplia gama de suelos, preferiblemente ligeros, de texturas franco arenosas, francas o franco arcillosas, con adecuado drenaje y aireación, ya que el sistema radical es muy superficial y su capacidad de absorción de nutrimentos es baja debido al limitado número de pelos absorbentes.

El propósito de esta investigación fue el evaluar el comportamiento de la lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. Tahití, en suelos con impedimentos mecánicos para el desarrollo de las raíces; uno con una PE 10 cm, y pendiente del 62%; el otro con 20 cm de PE y pendiente del 13%. Se determinó la evolución de la biomasa y parámetros de crecimiento y desarrollo, durante la fase vegetativa; a su vez, se identificó la distribución diferencial de la materia seca entre los distintos órganos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Agraria Cotové, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín, situada en el municipio de Santafé de Antioquia (Colombia), a una altitud de 540 m, a 6° 33' 32" N y 77° 04' 51" O. El lugar se encuentra ubicado en la zona de vida bosque seco Tropical (bs-T) (Holdridge, 1947), con temperatura anual promedio de 27 °C, precipitación media anual de 1.031 mm y humedad relativa inferior al 70%.

En cada una de las situaciones de estudio se construyeron calicatas hasta 1,5 m de profundidad, en donde se determinaron las características físicas y químicas, los suelos se dividieron según el grado de pendiente y profundidad efectiva en:

- Suelos con pendiente menor a 13% y PE de 20 cm: Profundidad de 0 – 20 cm: con propiedades vérticas, de textura franco-arcillosa, estructura blocosa angular, fuerte y gruesa, de consistencia dura; con presencia de arcillas expansivas y con una resistencia a la penetración de 4 kg cm⁻².

Profundidad de 20 – 40 cm: se encontró, en la mayor parte del terreno, un horizonte paralítico, con espesor entre 15 y 20 cm, aproximadamente, el cual corresponde a un depósito aluvial de cascajo y grava, con alta resistencia a la penetración (mayor a 4,5 kg cm⁻²), donde no se evidenció penetración de raíces.

Profundidad por debajo de 40 cm: suelo arcilloso (40% arcilla - 20% arena), pH de 6 a 7 y ligera acumulación de carbonatos.

- Suelos con pendiente mayor al 62% y PE de 10 cm: se diferencia, en primer lugar, un horizonte A en los 10 cm superiores; de textura franco-arenosa, con 60% de grava, de color amarillo claro en seco y resistencia a la penetración mayor a 4,5 kg cm⁻².

A continuación se encontró un depósito, compuesto de cascajo y grava que se extiende más allá de los 150 cm de profundidad, con drenaje excesivo y resistencia a la penetración mayor a 4,5 kg m⁻¹. No se observó penetración de raíces en esta capa.

En la Tabla 1 se destacan, entre las características químicas del suelo, la alta saturación de bases, el contenido medio a bajo de fósforo y de materia orgánica, sin que estos valores presenten diferencias significativas.

La población estudiada consistió en árboles de lima ácida (*C. latifolia* Tanaka), cv. Tahití, injertados sobre

patrones de Carrizo y Kryder y plantados a 3 m, en triángulo. Se evaluó el crecimiento y desarrollo a los 24, 32 y 39 meses después del trasplante (MDT), correspondiente al periodo inicial de producción; para ello se emplearon tres árboles al azar a los que se les midió altura, longitud de las raíces (principal y secundarias), perímetro del tallo y altura de la copa. Se determinó biomasa por secado hasta peso constante en una estufa (DIES®, modelo Thermolab 240) de los distintos órganos de la planta, así como el área foliar (medidor de área foliar Li-Cor® LI 3000A). Las ramas fueron clasificadas acorde con su estado de desarrollo en adultas, maduras y jóvenes, con la siguiente descripción: ramas adultas implantadas en el tallo principal, diámetro mayor a 1,5 cm, completamente lignificadas; hojas en pleno desarrollo, de color verde intenso. Ramas maduras ubicadas en el ápice, sobre ramas adultas; diámetro inferior a 0,5 cm; con espinas y corteza sin lignificar; hojas en proceso de formación, sin cutícula endurecida y de color verde claro. Ramas jóvenes con diámetro entre 0,5 y 1,5 cm; en proceso de lignificación y elongación; con espinas; hojas completamente formadas, de color verde oscuro, presencia de cutícula endurecida.

Con base en la propuesta de Galindo (1986), se obtuvo una representación HJ- biplot, que permitió analizar, de manera simultánea, las relaciones entre variables y unidades experimentales, diferenciadas por la PE del suelo, para cada una de las edades y variables, previamente mencionadas.

Tabla 1. Características químicas de los suelos de la plantación de lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. Tahiti, con diferente profundidad efectiva y pendiente, en un bosque seco tropical (bs-T). Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

Profundidad efectiva (cm)	pH	M.O. (%)	Al	Ca	Mg	K	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N-NO ₃	N-NH ₄
10	6,5	1,2	-	23,1	11,0	0,15	34,3	8	3	3	3	2	1	0,1	Nd	12
20	6,4	3,2	-	25,0	11,7	0,37	37,1	5	6	7	3	3	1	0,4	11	9

RESULTADOS

Crecimiento de raíces. La longitud de las raíces, tanto principal como secundarias, siempre estuvo en incremento; sin embargo, la diferencia se vio marcada luego de 36 meses correspondiendo la mayor longitud de raíces, con la mayor profundidad efectiva, apreciándose en el tiempo señalado que

esta era del 50% (Figura 1). La biomasa de la raíz principal en PE 10 cm alcanzó entre el 30% y el 40% del valor presentado en PE 20 cm (2.859,5 g). Las tasas de crecimiento de la raíz a partir de los 32 MDT, en PE de 20 cm, superaron los 7 cm mes⁻¹, mientras que en PE 10 cm, fue de 2 cm mes⁻¹. A partir de los 39 MDT las tasas se duplicaron, cercanas a 9 y 4 cm mes⁻¹, respectivamente.

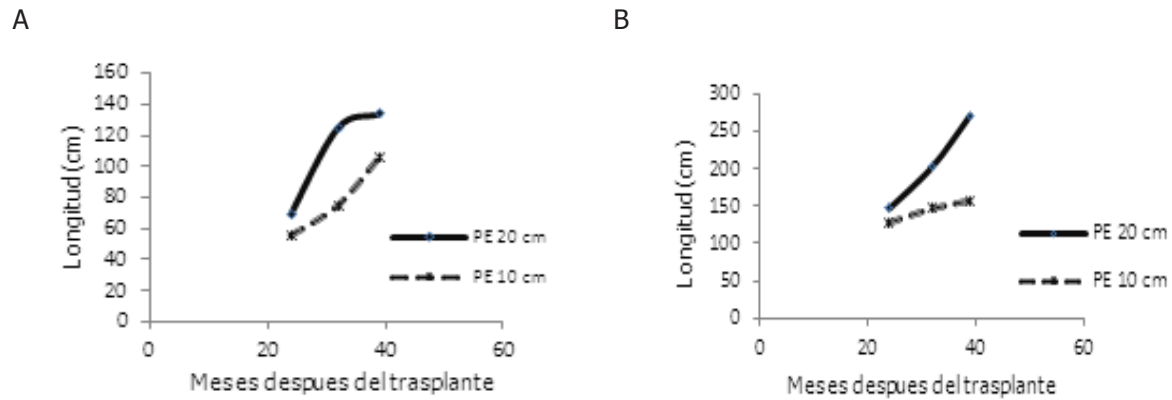


Figura 1. Elongación de la raíz principal (A) y raíces secundarias (B) de árboles de lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, plantados en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (20 ó 10 cm) en el bs-T. Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

Las raíces secundarias en PE 10 cm, alcanzaron entre el 16 y el 30% de la biomasa de la raíz en PE 20 cm, donde se evidenció un máximo de 3.486,6 g. En suelos con PE de 20 cm, el crecimiento de las raíces

secundarias ocurrió a tasas que se incrementaron progresivamente a los 24, 32 y 39 MDT a 24, 51 y 241 cm mes⁻¹, respectivamente, mientras en PE 10 cm correspondieron a 7, 45 y 1,7 cm mes⁻¹.

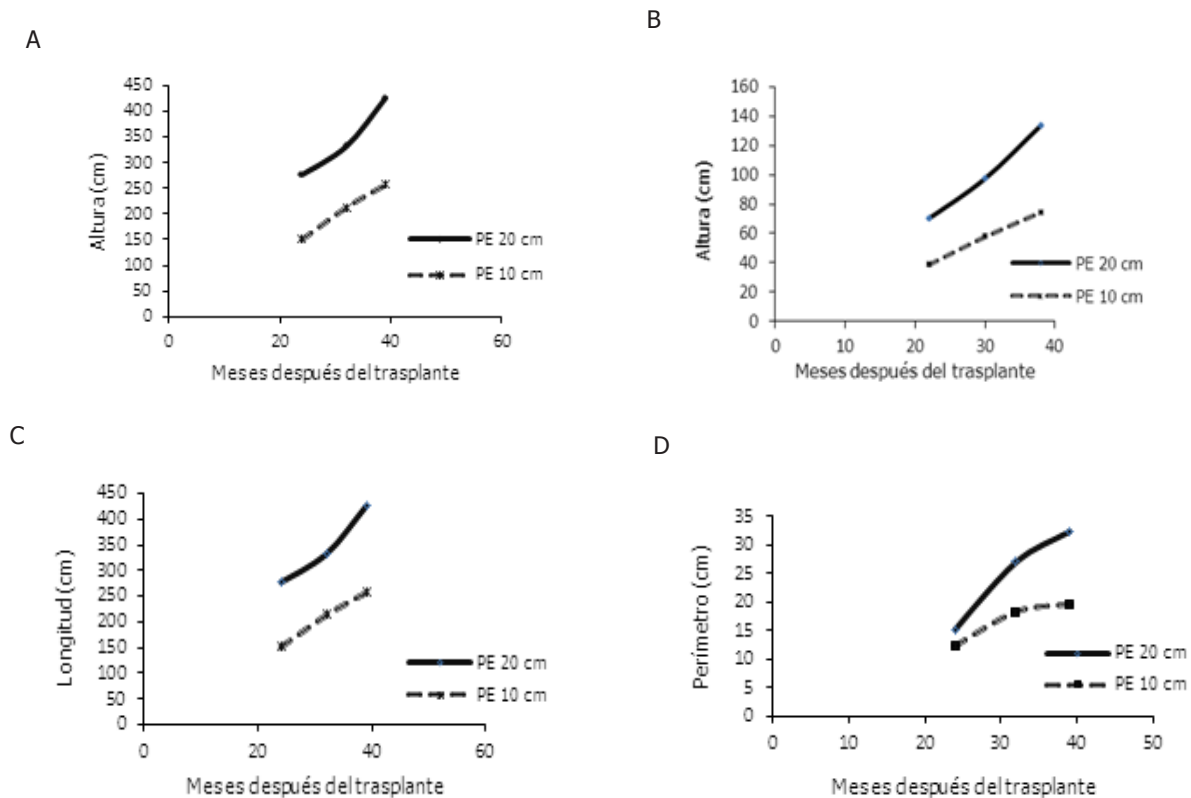


Figura 2. Altura del árbol (A), altura del verticilo (B), longitud de copa (C) y perímetro del tallo (D) en árboles de lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, plantados en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (20 ó 10 cm) en el bs-T. Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

Crecimiento aéreo. En el caso de la fitomasa del tallo esta alcanzó, en PE 20 cm, los 4.741 g pero en PE 10 cm sólo consiguió los 685,6 g.

Se presentó un comportamiento similar en las características aéreas de los árboles (Figura 2), las cuales incluyen las alturas: total del árbol, que en PE 20 cm alcanzó los 426 cm, luego de 39 MDT; sin embargo, en PE 10 cm llegó a 257 cm. Similar a lo evidenciado en la altura del árbol, el verticilo en PE 20 cm alcanzó 133 cm; mientras en PE 10 cm, fue de 74,3 cm. Respecto a la altura de la copa, en PE de 10 cm alcanzó un 64% de lo evidenciado en PE 20 cm, correspondiente a 257 cm.

El perímetro del tallo presentó incrementos en todas las edades, en suelos con PE de 10 cm; luego de 39 MDT fue de 19,7 cm mientras en PE 20 cm, fue de 32,3 cm.

Conforme a la evolución expresada por los demás órganos y parámetros, el comportamiento en la materia seca de las ramas jóvenes, adultas y maduras fue mayor en los individuos cultivados en suelos con PE de 20 cm; es así como la biomasa de las ramas maduras en PE 10 cm sólo alcanzó el 13,4% del de PE 20 cm con 2.430,6 g, similar a lo evidenciado en ramas jóvenes en donde en PE 20 cm fue de 67,5 g mientras en PE 10 cm sólo llegó a 5,4 g a los 39 MDT (Figura 3).

Acorde con la tendencia manifestada en los parámetros antes mencionados, el desarrollo del área foliar, tanto en las hojas jóvenes como en las adultas, con relación a la PE del suelo, exhibió incremento continuo, pero en menor proporción en los árboles cultivados en suelos con PE de 10 cm (Figura 6). El área foliar de hojas adultas a los 39 MDT, en PE 20 cm correspondió a 356 846,9 cm²,

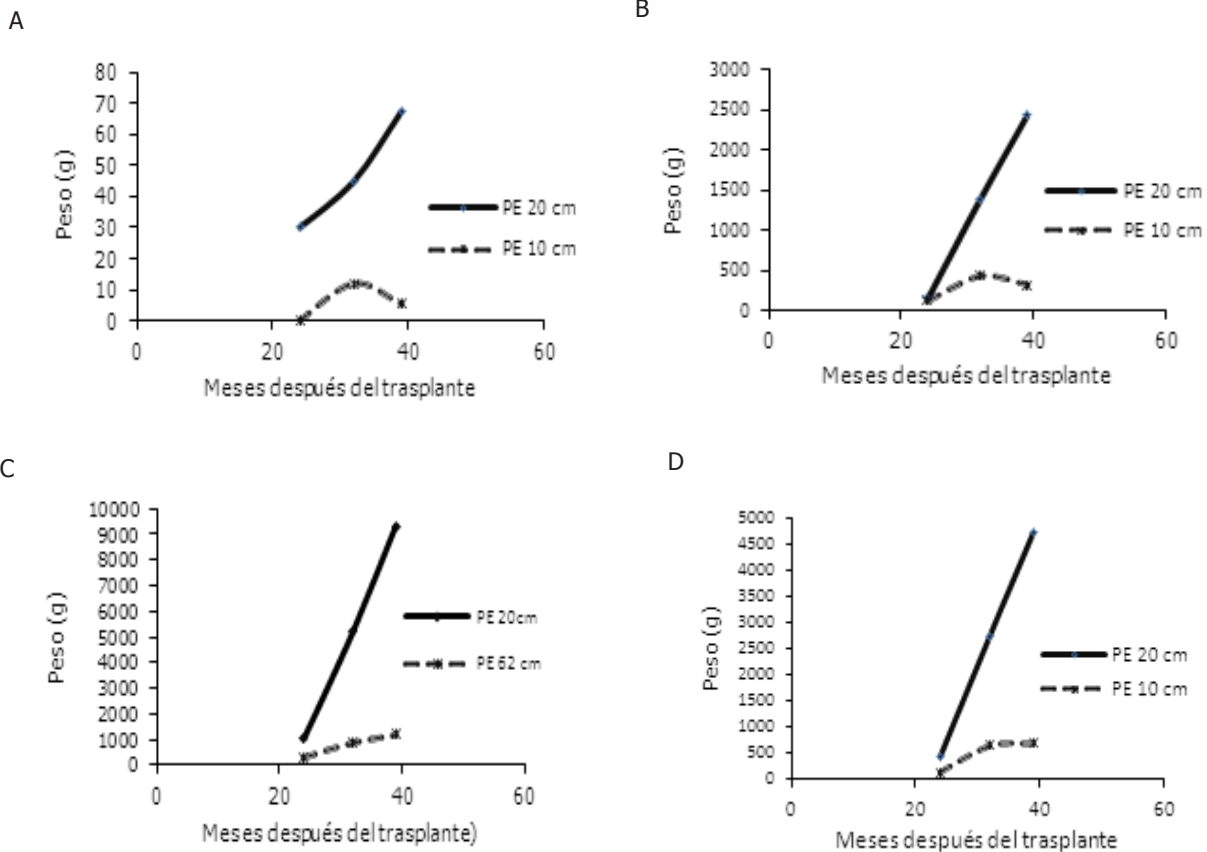


Figura 3. Materia seca de ramas jóvenes (A), materia seca de ramas maduras (B), materia seca de ramas adultas (C) y materia seca del tallo (D) en lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, plantados en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (20 ó 10 cm) en el bs-T. Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

mientras que en PE 10 cm solo llegó al 14% de este valor. El área foliar en hojas jóvenes presentó una tendencia similar a la observada en adultas en donde el valor máximo se evidenció a los 39 MDT con 27.718,9 cm², alcanzando el 15,3% en la condición de PE 10 cm.

La biomasa de las hojas maduras en PE 10 cm se incrementó entre los 24 y 39 MDT de 170 a 673 g, y en PE 20 cm de 623 a 4.998 g. La biomasa de hojas jóvenes en PE 10 cm tan solo alcanzó el 12,6% del de PE 20 cm (244 g) (Figura 3).

La tendencia exhibida por las variables: altura de planta, de copa y del verticilo y de la fitomasa de las raíces, tallos, ramas y hojas, se ilustra con ayuda de la gráfica HJ-biplot (Figura 4), la cual proporciona una representación simultánea de los individuos (puntos) y las variables (líneas). Los rombos simbolizan los árboles plantados en suelos con profundidad efectiva de 20 cm; mientras que los círculos representan los individuos cultivados en suelos con PE de 10 cm. Los colores simbolizan las edades de los árboles, así: azul, individuos con 24 MDT; verde, 32 MDT, y negro, especímenes con 39 MDT.

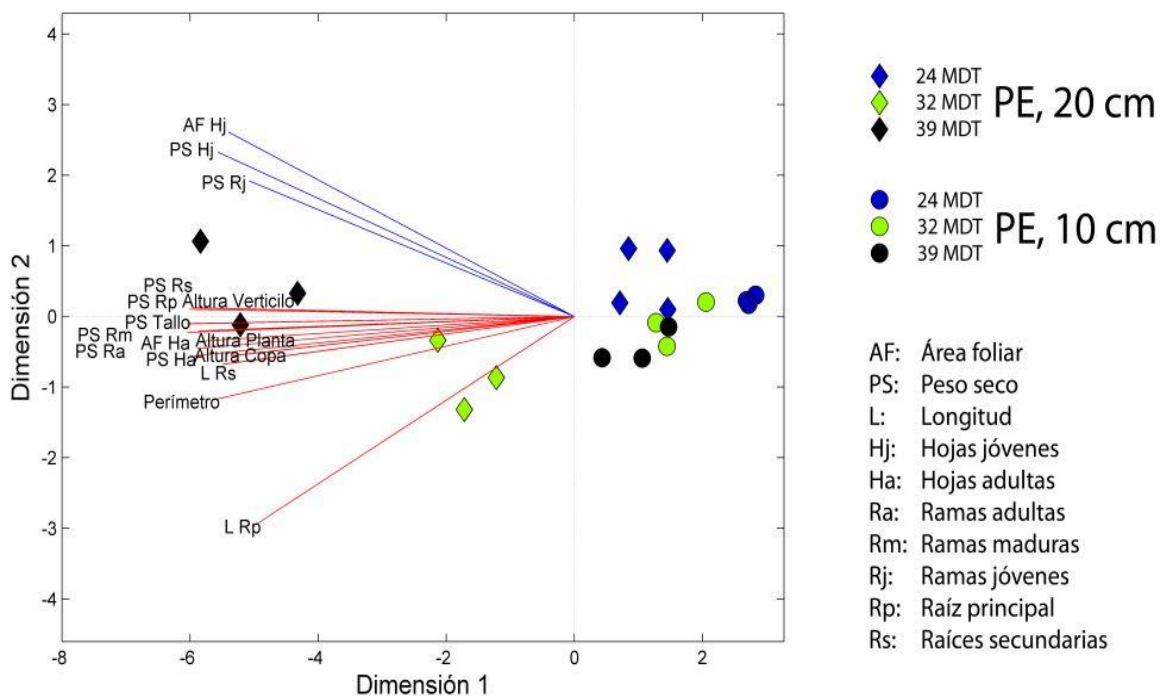


Figura 4. HJ-biplot, donde se relacionan las variables en estudio con los factores profundidad efectiva (PE) y tiempo, en árboles de lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, plantados en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (20 ó 10 cm), catalogados como PCA y CE respectivamente, en el bs-T, Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

La cercanía entre puntos se interpreta como similitud entre los correspondientes individuos, en cuanto a las medidas obtenidas sobre los mismos; por otra parte, el ángulo entre líneas, estima la correlación entre las correspondientes variables; mientras menor sea el ángulo entre dos líneas (o más cercano a 180 grados) mayor será su correlación.

En este caso, la primera dimensión (Figura 4) refleja cambios asociados con edad, que aumentan de

derecha a izquierda, así: 24 MDT (azul), 32 MDT (verde) y 39 MDT (negro). No obstante, tales cambios se presentan de manera diferencial para el grupo de árboles plantados en suelos con PE 10 cm (círculos) y con PE 20 cm (rombos), lo que evidencia una interacción entre tipo de suelo y edad. Se observó un mayor distanciamiento entre edades para individuos plantados en suelos con PE de 20 cm que en aquellos plantados con PE de 10 cm. Esto significa que la evolución del crecimiento y desarrollo, tanto del

sistema aéreo como del subterráneo, en función de la edad, es mayor en especímenes plantados en suelos con PE de 20 cm que en árboles plantados con PE de 10 cm. Se observó, además, que con PE de 10 cm no hay diferencias marcadas en la evolución de las variables y de la biomasa, entre 32 y 39 MDT; por el contrario, para los individuos en los suelos con PE de 20 cm, sí hay una clara diferenciación entre todas las edades en el crecimiento y desarrollo de los sistemas aéreos y subterráneos.

La dimensión 1 en el eje X (Figura 4), agrupa un conjunto de variables estrechamente asociadas entre sí, que reflejan el desarrollo general de las plantas;

tal es el caso de la altura del verticilo y del peso seco de la raíz principal y las secundarias. Una respuesta igualmente asociada con la edad, que también refleja este crecimiento y desarrollo de la lima ácida cv. Tahití, en las condiciones del bosque seco tropical, se apreció en la materia seca del tallo y las ramas maduras y adultas. Además, se identificaron tendencias similares (Tabla 2) entre altura de planta y de copa, área foliar, fitomasa de hojas adultas y longitud de raíces secundarias. La relación del perímetro del tallo con la evolución del crecimiento y desarrollo de la lima ácida cv. Tahití, en función de la edad, fue menos notoria, en particular para el grupo de individuos evaluados a los 39 MDT (Figura 2).

Tabla 2. Tasas de crecimiento de los principales órganos aéreos (cm/mes) en lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. Tahití, plantados en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (20 ó 10 cm.) en el bs-T, Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

Parámetro	Profundidad Efectiva (cm)	Edades (MDT)*		
		24	32	39
Altura total de la planta	20	7,76	6,91	13,38
	10	2,50	7,80	6,30
Altura del verticilo	20	1,52	3,38	5,19
	10	0,20	2,37	2,80
Perímetro del tallo	20	0,45	1,46	0,76
	10	0,33	0,75	0,19
Altura de la copa	20	6,20	3,53	8,20
	10	2,30	5,40	4,00

* Meses después del trasplante

En los suelos con mayor PE, la longitud de la raíz principal exhibió un desarrollo muy marcado entre las dos primeras edades evaluadas (24 y 32 MDT); para la tercera evaluación, 39 MDT, no se observó un incremento en longitud de las raíces (Tabla 3).

Como se aprecia en la Figura 4, en ambas PE (10 cm y 20 cm), entre los 24 y los 36 MDT, hubo un crecimiento y desarrollo global de tejidos maduros y adultos; así, como un incremento en la longitud de la raíz principal (Tabla 3). De igual manera, entre

Tabla 3. Tasas de crecimiento radical en árboles lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, plantados en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (20 ó 10 cm) en el bs-T, Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

Parámetro	Profundidad Efectiva (cm)	Edades (MDT)*		
		24	32	39
Longitud raíz principal	20	1,9	7,0	8,7
	10	1,4	2,2	4,4
Longitud raíces secundarias	20	4,8	7,0	10
	10	4,0	2,3	1,5

* Meses después del trasplante

los 32 y los 39 MDT para PE 10 cm se mantuvo la misma tendencia, con menor aceleración (Tabla 3); igualmente, para los individuos plantados en suelos con PE de 20 cm, se observó un incremento en el crecimiento y en el desarrollo global, que podrían explicarse con una reasignación de fotoasimilados destinados a la formación de tejidos jóvenes.

DISCUSIÓN

En el análisis químico realizado a los suelos en estudio, se encontró un deficiente contenido de materia orgánica y de nitrógeno, tanto en aquellos con pendiente menor a 13% y profundidad efectiva (PE) de 20 cm, como en los de inclinación mayor al 62% y PE de 10 cm. Los demás minerales, así como el pH, están dentro de los rangos considerados adecuados para este cultivo, acorde con lo reportado por Legaz y Cebolla (1995) y Aguilar (2008). Por consiguiente, las diferencias observadas en el desarrollo de la plantación, entre los dos tipos de suelos, son más atribuibles a las propiedades físicas y a la PE de los suelos que a su composición química, tal como lo referencia Ramírez (2011).

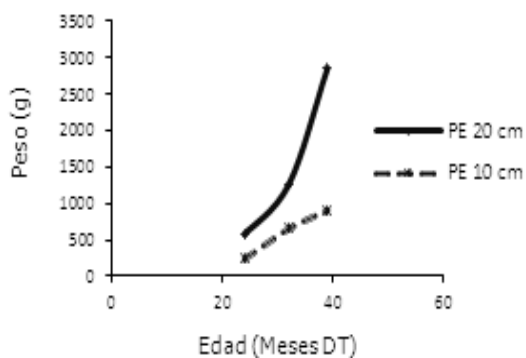
En la caracterización geomorfológica realizada en la Estación Agraria Cotové, De los Ríos *et al.* (2004), detallaron que el área está constituida por seis unidades geomorfológicas entre las que se incluyen las colinas erosionales y el piedemonte coluvio aluvial.

Las colinas erosionales, en donde se evaluaron los árboles de lima ácida con menor crecimiento, se caracterizan por fuertes inclinaciones, generalmente mayores del 50%, PE delgada y drenaje superficial rápido, condiciones que limitan su uso, por lo menos para cultivos perennes como se demuestra en este trabajo. El piedemonte coluvio aluvial se caracteriza por presentar pendientes fuertemente onduladas a onduladas (12-25%), PE profunda y drenajes de medios a lentos, que fueron las condiciones en donde hubo mayor crecimiento de los árboles evaluados.

Las características descritas en el estudio expuesto por los anteriores autores, anunciaron empíricamente lo demostrado con evaluaciones de crecimiento y desarrollo, y se confirmó que la PE y la pendiente del terreno acarrearán al detrimento en el normal desarrollo de la plantación (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6). Se explica que las diferencias halladas, y el contraste observado en la evolución de los árboles de lima ácida en cada lote, son debidas a las propiedades físicas del suelo.

Además se observaron anomalías en el desarrollo radical, tanto en elongación como en biomasa acumulada (Figuras 1 y 5); se pone de manifiesto que uno de los factores decisivos en la evolución de la plantación es la PE (Figura 1), de esta se deriva que los árboles no desplieguen su sistema radical correctamente, aspecto que afecta la adecuada extracción de agua y nutrientes para la planta.

A



B

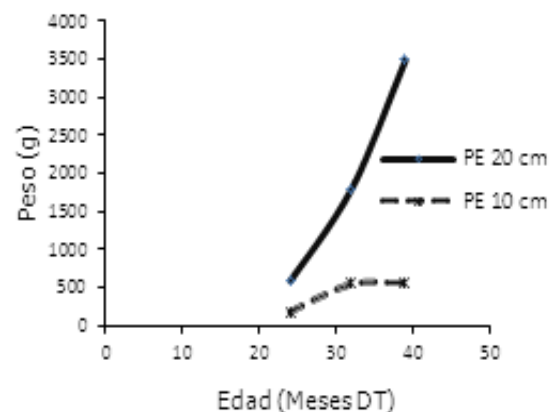


Figura 5. Materia seca de raíz principal (A) y materia seca de raíz secundaria (B), acumulada por las plantas de lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. Tahití, plantados en suelos con limitaciones por profundidad efectiva (20 ó 10 cm) en el bs-T, Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia (Colombia).

Acorde con lo antes expresado, en Agrocadenas (2005) se afirma que el crecimiento del sistema radical de árboles adultos, en longitud y lateralmente, es una respuesta a las características físicas del suelo; sin embargo, distintos autores manifiestan amplitud de conceptos sobre la PE más apropiada para los cítricos. Avilan (1986) y Hernández *et al.* (1987) indican que la PE mínima debería estar entre 60 cm y 1 m para favorecer el crecimiento de las raíces, ya que las capas duras afectan su elongación. Para Corpoica (2003), el sistema radical de los cítricos necesita una PE superior a 1,5 m; a su vez, Amórtegui (2001), expresa que la raíz principal puede desarrollarse a profundidades entre 2 y 3 m y las raíces secundarias y los pelos absorbentes en los primeros 60 cm de profundidad. Finalmente, en Agrocadenas (2005) se enuncia que aunque se ha demostrado que la naturaleza del portainjertos es importante para el crecimiento de estos órganos, este papel es secundario, ya que su desarrollo depende de las características del suelo, pues el sistema subterráneo está localizado en los primeros 100 cm de profundidad.

Con relación a la absorción de nutrientes, algunos investigadores han estudiado dicha función radical; Báez *et al.* (2007), con lima ácida común (*C. aurantifolia*) e isótopo ^{32}P como trazador, identificaron mayor actividad de las raíces entre 0 y 30 cm de profundidad; por lo que concluyeron que, las raíces más activas se ubican a estas profundidades. Complementario a lo anterior, Contreras *et al.* (2008) quienes evaluaron la distribución radical, por estratos, en limón persa (*C. latifolia* Tan.) en suelos arenosos y arcillosos, establecieron que la mayor cantidad de raíces se presentó en el estrato de 0-30 cm de profundidad decreciendo hacia los más profundos.

Con base en lo expresado por los anteriores autores, y relacionando la respuesta exhibida por las plantas (Figura 4), se puede indicar que los árboles plantados a PE 10 cm, tendrían mayores dificultades para capturar agua y nutrimentos, en comparación con aquellos a mayor PE, por lo que es de esperar a futuro, que dichas plantas continúen con un desarrollo deficiente o empeoren.

Por otra parte, el desarrollo desigual observado en altura y copa (Figura 2) y fitomasa de ramas (Figura 3), es explicado por las diferentes condiciones en las cuales se han desarrollado las plantas, ya que los suelos con mayor PE favorecieron un proceso de crecimiento continuo; por el contrario, aquellos con

menor PE, afectaron el crecimiento, cuyo desarrollo radical fue pobre, lo que no les permitió un buen anclaje y posiblemente adecuada nutrición para desarrollar plenamente todos los demás órganos. A ello se suma un aporte hídrico limitado, por un riego deficitario y larga sequía, condiciones fuertemente limitantes para el establecimiento de cultivos, que sin duda, son las causas del contraste entre los dos suelos estudiados.

De igual forma, los vegetales pueden exteriorizar velocidades de crecimiento variables, dependientes de factores propios de estos, como lo es el estado fenológico; pero también influyen factores externos, como el clima y los suelos; es por ello que las tasas de crecimiento del actual estudio, arrojaron valores diversos (Tablas 2 y 3). Al observar el desarrollo de las plantas cultivadas en los suelos con PE de 10 cm, es de esperar que al existir una raíz y tallo con inadecuada formación y al ser estos órganos de sostén y de toma de nutrientes y agua para el dosel y al no existir en conjunto un sistema aéreo con buen desarrollo, que se observa en la escasa acumulación de materia seca (Figuras 3 y 6), las plantas no puedan ser capaces de captar luz suficiente, absorber agua y nutrimentos para elaborar los fotoasimilados necesarios.

Al comparar con datos obtenidos por otros autores, en relación a la altura de las plantas (Figura 2) cultivadas a PE de 20, se encuentra cierta similitud; entre estos Milla *et al.* (2009), quienes realizaron ensayos con la lima ácida cv. Tahití, sobre diferentes portainjertos, a los 21 meses después del trasplante; mientras que con PE de 10 cm, estas muestran un desarrollo muy inferior. Por consiguiente, con un desarrollo radical y una superficie captadora de luz y formadora de fotoasimilados poco desarrollados, se espera a futuro que la productividad sea deficiente. De acuerdo con ello, la FAO (2000) expresa que, cuanto más superficial es un suelo más limitados serán el desarrollo de las plantaciones y los tipos de uso que puede tener; ya que los suelos superficiales tienen menor volumen disponible para la retención de agua y nutrientes.

En esta investigación se evidenció la estrecha relación existente entre profundidad efectiva y el crecimiento de la lima ácida cv. Tahití. Con lo anterior es posible considerar que los suelos en los cuales se encuentra la mayor limitación en profundidad efectiva, no presentan la oferta edáfica adecuada para el desarrollo de este cultivo.

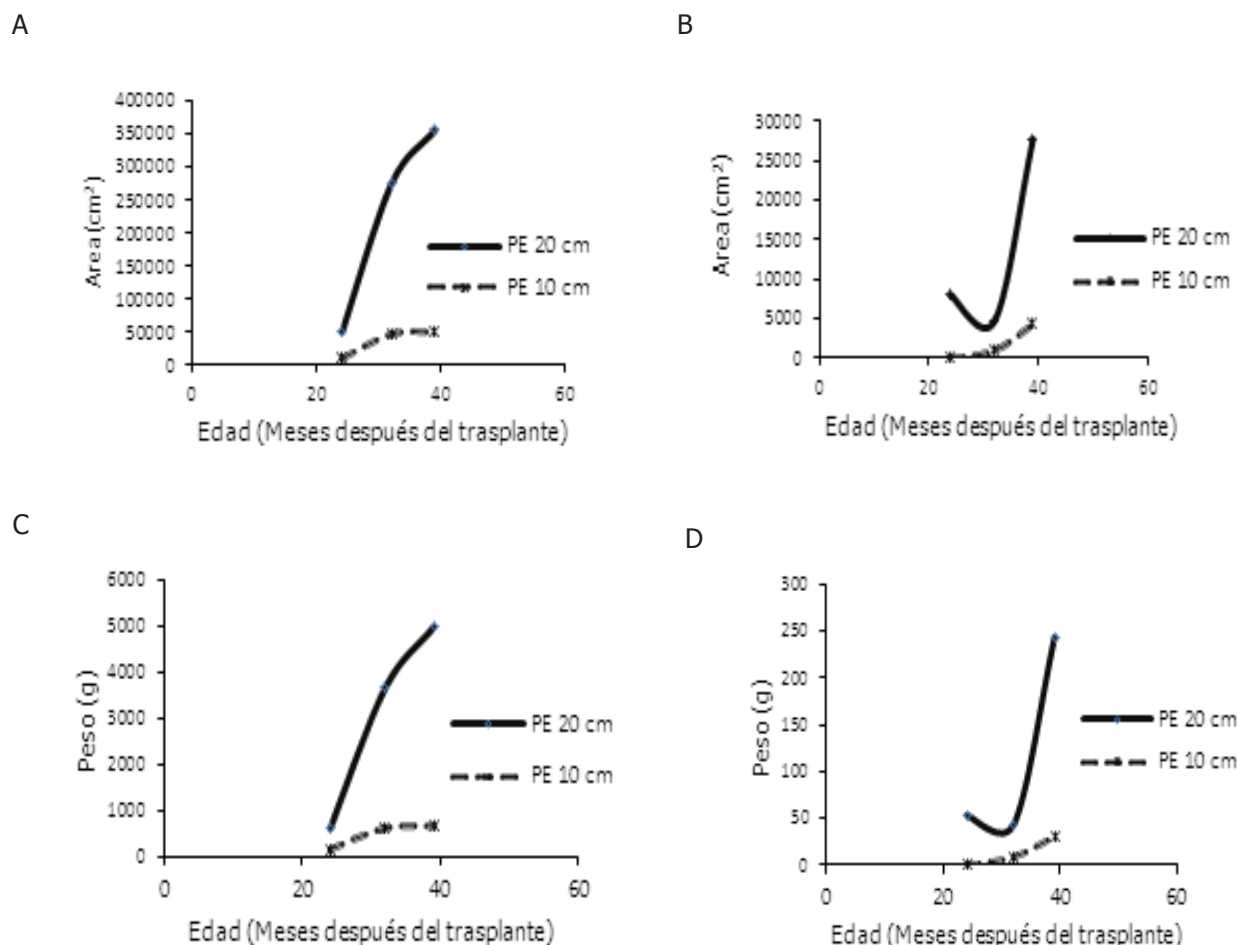


Figura 6. Área foliar hojas adultas (A), área foliar hojas jóvenes (B), materia seca hojas maduras (C) y materia seca hojas jóvenes (d) de la lima ácida (*Citrus latifolia* Tanaka), cv. Tahití, plantados en suelos con diferente PE (20 y 10 cm.), en el bs-T. Estación Agraria Cotové, Santafé de Antioquia. (Colombia).

CONCLUSIONES

La lima ácida cv. Tahití requiere un sistema radical perfectamente desarrollado, que permita una adecuada toma de elementos y agua para garantizar la correcta nutrición y desarrollo del vegetal, por lo que la profundidad efectiva no debe ser inferior a 20 cm.

Se evidenció la estrecha relación existente entre profundidad efectiva y el crecimiento de las plantas. De tal forma que el desarrollo radical afectó considerablemente el crecimiento de los árboles y su producción. Con lo anterior es posible considerar que los suelos en los cuales se encuentra la menor profundidad efectiva, no presentan la oferta edáfica apropiada para el desarrollo de este cultivo.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Investigación Medellín – DIME, por la financiación, al Grupo de Investigación ECOFIAGRO, del Proyecto “Ecofisiología Agraria, Categoría A, Colciencias”, sin la cual no hubiera sido posible adelantar este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Agrocadenas, 2005. La cadena de cítricos en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia, Bogotá. 65 p. (Documento de Trabajo No. 66).

- Aguilar, J. 2008. Programa de capacitación a productores en cítricos: Fertilización y riego. Cedefrut, México. 35 p.
- Almansa, E. 2008. Capítulo 5: Características físicas de los suelos en seis explotaciones cítricas del departamento del Casanare. pp. 53-67. En: Jaramillo, C. (ed.). Características de la citricultura del departamento del Casanare y recomendaciones para su mejoramiento productivo. Boletín de Investigación. Primera Edición. Corpoica, Villavicencio. 90 p.
- Alves, A., J. Artegoitia, E. Borrone, S. Da Costa, D. Fernández, F. Fraga, B. Fructos, L. García, M. González, G. Gonzáles, M. Guimaraens, M. Henderson y A. Iribarne. 2010. Ciclo de introducción a la realidad agropecuaria, Seminario Uruguay Rural. Complejo Agroindustrial Cítrico del Uruguay, Universidad de la Republica, Facultad de Agronomía. 42 p.
- Avilán, L. 1986. Suelos y fertilizantes para cítricos. En: FONAIAP Divulga, http://sian.inia.gov.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd22/texto/fertilizantecitrito.htm. Colección No. 22: consulta: mayo 2011.
- Amórtegui, I. 2001. El cultivo de los cítricos. Corporación para la Promoción del Desarrollo Rural y Agroindustrial del Tolima. Editores e Impresiones El Poira S.A., Ibagué, Tolima. 35 p.
- Asocítricos y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2005. Manual ilustrado para la producción de cítricos. Fondo de Fomento Hortofrutícola, Colombia. 167 p.
- Báez, M., C. Delgado, D. Miranda y R. Obando. 2007. Estudios de actividad radical en lima ácida común (*Citrus aurantifolia*) usando ³²P. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 1(1): 33-42.
- Cañizares, A. y M. Sanabria. 2007. Anatomía del tallo de lima Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka). Revista UDO Agrícola 7(1): 221-227.
- Carrasco, J., A. Antunez y G. Lemus. 2010. Evite problemas: Conozca cómo es el suelo antes de establecer un huerto frutal. En: INIA Tierra adentro, <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR36668.pdf>. 3 p.; consulta: mayo 2011.
- Contreras, E., G. Almaguer, J. Espinoza, R. Maldonado y E. Álvarez. 2008. Distribución radical de árboles de limón persa (*Citrus latifolia* tan.). Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 223-234.
- CORPOICA, 2003. Sistemas de laboreo en franjas alternas para el establecimiento de cítricos en los llanos orientales. Corpoica, Villavicencio, Colombia. 6 p. (Plegable divulgativo No. 35).
- De Los Ríos, J., A. Gallego, L. Vélez, J. Agúdelo, L. Toro, A. Lema y L. Acevedo. 2004. Caracterización y evaluación de los agroecosistemas del Centro Agropecuario Cotové. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 57(1): 2279-2308.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Second edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachussets. 400 p.
- FAO, 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Dirección de sistemas de apoyo a la agricultura de la FAO. Basado en el curso capacitación sobre Manejo y Conservación de Suelos, IITA, Ibadan, Nigeria. 220 p.
- FINAGRO, 2009. Información sectorial: Cítricos. En: Http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-265&p_options=#COLOMBIA; consulta: mayo 2011.
- Franco, A.M. 2004a. Aproximación al pronóstico de cosecha en una explotación comercial cítrica en la cuenca media del valle geográfico del río Cauca. Informe de Semestre de Aplicación. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 53 p.
- Franco, A.M. 2004b. Caracterización fenológica de la naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) var. Frost Valencia, en el bs - T de la cuenca media del río Cauca, municipio de Fredonia (Antioquia). Trabajo de grado de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 78 p.
- Galindo, M.P. 1986. Una alternativa de representación simultánea: HJ-biplot. *Qüestii* 10(1):13-23.
- Holdridge, L.R. 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science* 105(2727): 367-368.
- Hernández, D.M., R.I. Hernández, N.A. Mesa y R.L. Forteza. 1987. El efecto de la profundidad efectiva y

la rocosidad sobre los rendimientos de los cítricos en un suelo ferralítico. *Agrotecnia de Cuba* 19(1): 75-79.

Legaz, F., M.D. Serna, P. Ferrer, V. Cebolla y E. Primo-Millo. 1995. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Generalitat Valenciana Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació. Gráficas Fortuny S.L., Valencia. 26 p.

León, G., J. Baquero, L. Arango y J. Orduz. 2007. Establecimiento y manejo de cítricos en la altillanura colombiana. CORPOICA, Villavicencio, Colombia. 2 p. (Plegable divulgativo No. 57).

Milla, D., Arizaleta, M. y L. Díaz. 2009. Crecimiento del limero 'Tahití' (*Citrus latifolia* Tan.) y desarrollo del fruto sobre cuatro portainjertos en un huerto frutal ubicado en el municipio Palavecino, Estado Lara, Venezuela. *Revista UDO Agrícola* 9(1): 85-95.

Orduz, J. 2007. Ecofisiología de los cítricos en el trópico: Revisión y perspectivas. p. 67-76. En: Memorias. II Congreso Colombiano de Horticultura. Produmedios, Bogotá.

Ramírez, R. 2011. Fertilidad Integral. p. 104-115. En: Memorias. XV Congreso Anual COMALFI, Ibagué.

Ramírez, R. y E. Leiva. 2009. El desarrollo de las raíces y la producción de cultivos. p. 80-85. En: Memorias. XXXIX Congreso Anual COMALFI, Fusagasugá.

Ramírez, R. y C. Salazar. 2005. Cambios de la resistencia a la penetración con diferentes sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un andisol del municipio de Marinilla (Antioquia). En: http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/rramirez/cambios_de_la_resistencia_a_la_penetracion_en_un_suelo_con_diferentes_sistemas_de_manejo_y_su_relacion_con_algunas_propiedades_fisicas_en_un_andisol-marinilla_la_montanita.pdf. 22 p.; consulta: mayo 2011.

Ramírez, R. y N. Zapata. 2006. Influencia del tamaño de agregados del suelo, en el crecimiento de zanahoria (*Daucus carota* L.) cultivada en un andisol virgen de Marinilla. En: http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/rramirez/influencia_del_tamano_de_agregados_del_suelo,_en_el_crecimiento_de_zanahoria__daucus_carota_l__cultivada_en_un_andisol_virgen_de_marinilla.pdf. 15 p.; consulta: mayo 2011.