

## Crecimiento postgerminativo y concentración nutrimental en hojas de *Annona muricata* L. cultivadas en suelos calcimórficos

Jesús M. E. Aguilar-Luna<sup>1</sup> & E. García-Villanueva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SAGARPA-SENASICA.C.P.77500, Cancún, Quintana Roo, México. E-mail: maoaguilar@colpos.mx.

<sup>2</sup> REGEP-Fruticultura, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, C.P. 56230, Edo. de México, México. E-mail: egarciav@colpos.mx

### RESUMEN

El estudio se realizó en Quintana Roo, México. El objetivo fue evaluar la influencia de los suelos calcimórficos en el crecimiento postgerminativo del guanábano y la concentración nutrimental en hojas; debido a que se han observado deficiencias que afectan el desarrollo de las plantas en la etapa de vivero. Para ello se utilizaron 49 plántulas de  $\pm 10$  cm de longitud, que fueron colocadas en minirrizotrones. Se ocuparon cinco suelos calcimórficos de la zona: gleysol (saskab), luvisol (yaaxhom), VTR<sup>®</sup> (k'áanKab), cambisol (ka' Kab) y rendzina (áak'alché); además del suelo fluvisoleútrico y el sustrato premier pro-mix VFT<sup>®</sup>, como fuentes comparables. El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con siete tratamientos y siete repeticiones. Las variables de respuesta fueron: longitud radical, número de raíces, altura de la planta, número de hojas, tasa de crecimiento y contenido nutrimental en hojas (CNH). Después de 100 días, los resultados indicaron que en suelos calcimórficos el guanábano crece a una tasa de 0.22 y 0.26 cm día<sup>-1</sup> (sistema radical y parte aérea, respectivamente); siendo fisicoquímicamente mejores, vertisol y cambisol. Sin embargo, los suelos calcimórficos utilizados fueron deficientes en K; aunque a mayor concentración de N, P, Ca y Mg en la solución del suelo, mayor fue su CNH.

**Palavras-chave:** minirrizotrófon, parte aérea, plántula, sistema radical, tasa de crecimiento

### *Post-germinative growth and nutrient concentration in leaves of Annona muricata L. grown in calcimorphic soils*

### ABSTRACT

The research was conducted in Quintana Roo, Mexico; aiming to evaluate the influence of the calcimorphic soils in the post-germinative growth of soursop and the accumulation of nutrients in leaves, because deficiencies have been observed that affect the development of plants in the nursery phase. Forty nine experimental units with seedlings of  $\pm 10$  cm in length were used, which were placed in mini rhizotrons. It occupied five calcimorphic soils of the region: gley (saskab), luvisol (yaaxhom), VTR<sup>®</sup> (k'áanKab), cambisol (ka' Kab) and rendzina (áak'alché); also the soil eutricfluvisol and the substrate premier pro-mix VFT<sup>®</sup>, as a source for comparison. The experimental design was completely randomized, with seven treatments and seven replications. The evaluated variables were: radical length, number of roots, plant height, number of leaves, rate of growth and accumulation of nutrients in leaves (NAL). After 100 days of observation, the results indicated that in calcimorphic soils the soursop grows at a rate of 0.22 and 0.26 cm day<sup>-1</sup> (root system and aerial part, respectively); being physicochemically best, vertisol and cambisol. However, the calcimorphic soils used in this investigation are deficient in K; although at highest concentration of N, P, Ca and Mg in the soil solution, greater was its NAL.

**Key words:** mini rhizotron, aerial part, seedling, root system, rate of growth

## INTRODUCCIÓN

El guanábano (*Annona muricata* L.) es un árbol tropical, muy apreciado por sus frutos; sin embargo, presenta problemas para su cultivo, tales como: la incidencia de plagas y enfermedades, el poco mejoramiento genético y su propagación que es principalmente sexual (Lim, 2012). En Quintana Roo, México, es un cultivo importante que se encuentra presente en los huertos caseros (sistemas agroforestales), asociado con otros componentes; sin variedades mejoradas. De los frutos consumidos se obtienen las semillas, mismas que se siembran en almácigos y posteriormente son trasplantadas al lugar definitivo (en parcelas con suelos calcimórficos altamente heterogéneos), iniciando su producción a los 5 ó 6 años.

Tolera suelos superficiales y compactos, pero no los calizos como otras anonáceas (Cruz-Castillo et al., 2002). Se desarrolla mejor en suelos francos con buen contenido de materia orgánica y con pH entre 5.5 y 7.0 (Lim, 2012). Puede prosperar en suelos con problemas de salinidad, a pesar de que la tasa fotosintética y transpiratoria disminuyen; así como su capacidad de asimilación de Ca y K (Azevedo et al., 2004; Tavora et al., 2004).

En términos del crecimiento radical, el parámetro ambiental más importante es el ambiente edáfico, que consiste de características como: la temperatura, la humedad, el CO<sub>2</sub>, el O<sub>2</sub> y la disponibilidad de nutrientes (Hodge et al., 2009). Por ello, el guanábano requiere de ciertos contenidos nutrimentales en sus hojas para no ver perjudicado su crecimiento y su productividad, desde la etapa de vivero.

En el guanábano, la radícula es el primer órgano embrionario en brotar a través de la cubierta seminal. Forma tricomas radicales que absorben agua, nutrientes y sujetan el embrión al suelo. A continuación, en la germinación epigea, empieza a alargarse el hipocótilo, que empuja la plúmula y los cotiledones, hacia la superficie del suelo. Los cotiledones que salen a la luz forman clorofila y llevan a cabo la fotosíntesis hasta que se desarrollan los nomófilos (hojas) a partir de la plúmula. Desde que comienza la germinación hasta que la planta logra su completa independencia de los nutrientes almacenados, recibe el nombre de plántula (Evert et al., 2008). Sin embargo, mientras el sistema radical profundiza entre los estratos del suelo, se pueden presentar varios tipos de estrés que reducen su crecimiento; aunque el alargamiento de la raíz y su ramificación aumentan en un ambiente edáfico favorable (Hodge et al., 2009).

La iniciación y el desarrollo de las raíces laterales proveen un importante mecanismo para la construcción del sistema radical, incrementando el área de absorción y el volumen de suelo explorado. Más del 90% de sus raíces están en los primeros 40 cm de la superficie del suelo. Por lo tanto, el crecimiento del sistema radical depende íntimamente de la fuente nutrimental disponible en su ambiente edáfico (Hodge et al., 2009). Las plantas para su crecimiento requieren de la disponibilidad de nutrientes y su absorción dependerá fundamentalmente de la capacidad de efectuar este proceso a través de su sistema radical.

La importancia del sistema radical en las plantas de guanábano se debe principalmente a la absorción de agua,

nutrimentos, anclaje y soporte; siendo más relevante en condiciones fisicoquímicas limitantes, pues las plantas tienen que desarrollar más raíces para poder compensar esa limitante natural del suelo; como es el caso de los suelos calcimórficos. Para describir el sistema radical se debe conocer la longitud y el diámetro de las raíces principales, las cuales indican el volumen de exploración en el suelo, la distribución de la superficie radical en relación con la profundidad y la capacidad de absorción nutrimental (De Dorlodot et al., 2007).

En la etapa joven del crecimiento del guanábano, la parte aérea es importante porque se encarga de realizar la fotosíntesis y la fijación de CO<sub>2</sub> en presencia de luz; con intensidades luminosas decrecientes a partir del 45%, la altura, el peso seco, el contenido de clorofila y la proporción de fotosintatos, disminuyen (Utsunomiya & Higuchi, 1996). También, condiciones de estrés como: sequía, anegamiento, deficiencia nutrimental, salinidad o compactación del suelo pueden ocasionar que las hojas disminuyan su expansión foliar, apertura, cierre estomático y senescencia, provocando una insuficiencia de recursos para mantener una tasa de crecimiento máxima (Taiz & Zeiger, 2006).

Con la finalidad de estudiar las limitantes iniciales que enfrenta esta especie en su propagación y buscar un mejor aprovechamiento del recurso suelo, el objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de los suelos calcimórficos en el crecimiento postgerminativo del guanábano y su concentración nutrimental en hojas.

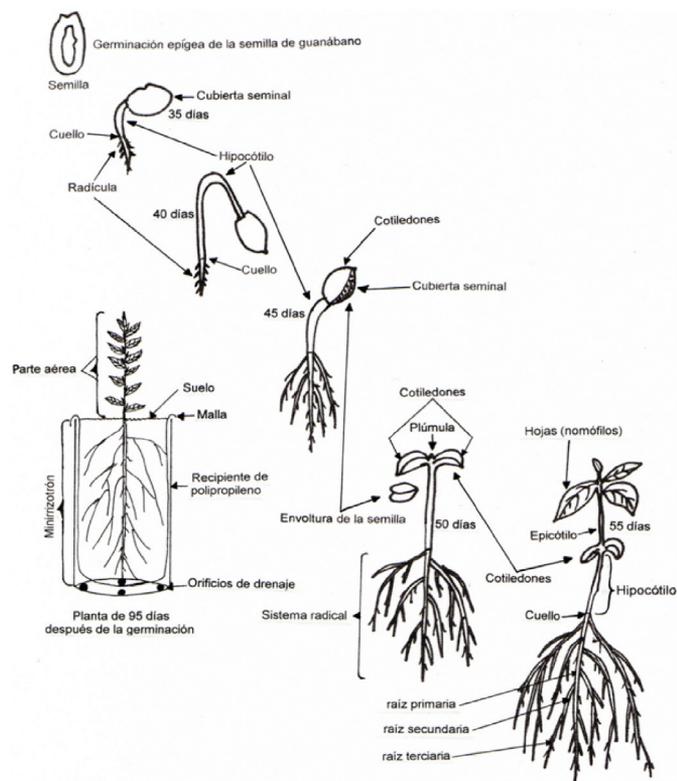
## MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se realizó de mayo a agosto del 2006, en Noh-Bec, Quintana Roo, México (19° 06' N, 88° 10' O y 11 msnm), en un clima cálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano Aw<sub>1</sub>(x'), con 25.7°C de temperatura media anual, 1562.4 mm de precipitación anual, 1404.3 mm de evaporación anual y 60 a 90% de humedad relativa.

La búsqueda se inició con la siembra de semillas, obtenidas de frutos colectados de árboles en producción, seleccionados por su vigor y sanidad dentro de los sistemas agroforestales en la zona. En una cámara plástica, se hicieron germinar las semillas, utilizando una mezcla de "peatmoss" más tierra de monte (1:1), manteniendo las condiciones de humedad y temperatura óptimas para la germinación (65 a 80% y 22 a 24°C, respectivamente). A los 45 días se obtuvieron las 49 plántulas con condiciones para el trasplante (±4 cm de longitud radical y ±6 cm de longitud del tallo) (Figura 1).

Cada planta fue colocada en un minirrizotrófon fabricado con recipientes cilíndricos de polipropileno (11 cm de diámetro y 35 cm de profundidad), basado en los diseños utilizados por Shi et al. (2008) y Willaume & Pagès (2011). El minirrizotrófon fue recubierto en su parte interna con una malla fina en doble capa, a base de nylon color claro, para evitar el crecimiento de la raíz al interior del suelo.

Cada minirrizotrófon se llenó con 3 kg de suelo y cada planta fue colocada entre la pared del recipiente y la malla, permitiendo el paso de los nutrientes hacia la raíz por difusión, mediante el agua de riego (200 ml cada tercer día); el cuello de la planta coincidió con el borde del minirrizotrófon.



**Figura 1.** Germinación de la semilla guanábano (*Annona muricata* L.) y su establecimiento en el minirrizotrófono

Para proporcionarles a la raíz las condiciones de oscuridad más adecuadas, los minirrizotrones fueron cubiertos exteriormente con polietileno negro.

Se emplearon suelos calcimórficos en esta investigación, porque en la zona son fáciles de localizar, a simple vista se diferencian entre ellos por su color, pedregosidad, profundidad y vegetación asociada. En ellos, se ha observado el establecimiento del cultivo de guanábano. Los cinco suelos calcimórficos utilizados fueron: T<sub>1</sub>: gleysol (saskab), T<sub>2</sub>: luvisol (yaaxhom), T<sub>3</sub>: vertisol (k'áanKab), T<sub>4</sub>: cambisol (ka' Kab) y T<sub>5</sub>: rendzina (áak'alché). Como fuentes comparables

se incluyeron: un suelo franco limoso (T<sub>7</sub>: fluvisoleútrico), por ser el más adecuado para el cultivo (Cruz-Castillo et al., 2002); y un sustrato comercial a base de turba, utilizado en la propagación de plantas en vivero (T<sub>7</sub>: premier pro-mix VFT®).

Sus principales características se describen en la Tabla 1, para lo cual se utilizaron los métodos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2003). El pH: potencial de hidrógeno (método AS-02, potenciómetro); la DAP: densidad aparente (método AS-03, parafina); la CIC: capacidad de intercambio catiónico (método AS-13, tiourea de plata); la MO: materia orgánica (método AS-07, Walkley y Black); el N: nitrógeno total (método AS-25, Kjeldahl); el P: fósforo extraíble (método AS-11, Bray y Kurtz 1); el K: potasio intercambiable (método AS-13, tiourea de plata); el Ca: calcio intercambiable (método AS-13, tiourea de plata); y el Mg: magnesio intercambiable (método AS-13, tiourea de plata).

Las variables de respuestas fueron:

i) Longitud radical (LR, cm). Se registró el crecimiento radical semanalmente durante el transcurso del experimento, en las 49 unidades experimentales; para ello fue necesario anteponer un acetato transparente, previamente rotulado, a la pared del minirrizotrófono para registrar el crecimiento radical y trazar en él, líneas que representaron el crecimiento de la raíz principal y sus ramificaciones, utilizando plumones de tinta indeleble de diferentes colores (un color en cada toma de datos). Los marcajes del acetato se digitalizaron con un escáner de alta resolución (1200 puntos por pulgada); posteriormente las imágenes fueron procesadas con el programa Root Edge<sup>®</sup> versión 2.3b (Kaspar & Ewing, 1997).

ii) Número de raíces (NR). Se contaron al final del experimento las raíces generadas en cada una de las 49 unidades experimentales, mediante los marcajes realizados en los acetatos transparentes. Los marcajes del acetato se digitalizaron con un escáner de alta resolución (1200 puntos por pulgada); posteriormente las imágenes fueron procesadas con el programa Root Edge<sup>®</sup> versión 2.3b (Kaspar & Ewing, 1997).

**Tabla 1.** Características fisicoquímicas de los suelos utilizados en el crecimiento postgerminativo del guanábano (*Annona muricata* L.)

Determinación	Gleysol (saskab)	Luvisol (yaaxhom)	Vertisol (k'áanKab)	Cambisol (ka' Kab)	Rendzina (áak'alché)	Fluvisol eútrico	Premier pro-mix VFT <sup>®</sup>
pH	8.81	6.89	6.77	6.80	6.94	6.20	6.51
DAP (g cm <sup>-3</sup> )	fa	ne	ne	ne	ne	má	má
CIC (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	13.10	22.50	25.00	21.41	23.13	32.20	40.83
MO (%)	0.50	2.47	2.90	2.84	2.72	3.50	9.20
N (%)	0.05	0.10	0.11	0.10	0.11	0.15	0.21
P (mg kg <sup>-1</sup> )	10.50	20.03	21.11	20.80	21.34	27.42	32.70
K (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	0.11	0.30	0.30	0.30	0.30	0.49	0.60
Ca (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	845	62	55	73	67	7	10
Mg (cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	101.80	8.3	8.4	8.2	8.3	2.5	2.0

pH (má=moderadamente ácido; ne=neutro; fa=fuertemente alcalino). DAP (ac=arcilloso; fr=franco; as=arenoso). CIC (ba=baja; me=media; al=alta; ma=muy alta). MO (mb=muy bajo; me=medio; ma=muy alto). N (mb=muy bajo; ba=bajo; me=medio; al=alto). P (ba=bajo; me=medio; al=alto). K (mb=muy baja; ba=baja; me=media). Ca (me=media; al=alta). Mg (me=media; al=alta). Interpretación según la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (NOM, 2003).

iii) Altura de la planta (AP, cm). Fue la distancia medida desde el cuello (región de constricción entre el tallo y la raíz principal) que en general coincidió con el borde del minirrizotrón, hasta el nudo de la última hoja con lámina expandida (ápice del tallo principal); semanalmente durante el transcurso del experimento, utilizando una regleta graduada.

iv) Número de hojas (NH). Se contó el número de hojas con láminas expandidas, fotosintéticamente activas y permanentes; semanalmente durante el transcurso del experimento.

v) Tasa de crecimiento (TC, cm·día<sup>-1</sup>). Se estimó con la ecuación:  $TC = [(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)] / S$ , donde  $W_2$  y  $W_1$ : longitud final e inicial;  $t_2$  y  $t_1$ : momento final e inicial del experimento;  $S$ : área del minirrizotrón (Hunt et al., 2002). La fórmula original contiene logaritmos, los cuales fueron omitidos, debido a que en la etapa inicial del desarrollo de las plantas el crecimiento fue prácticamente lineal. Como este experimento se inició con plántulas y se evaluó el crecimiento inicial, la fórmula sin logaritmos, resultó ser la más apropiada.

vi) Contenido nutrimental en hojas (CNH). Al final del experimento, se realizó un muestreo foliar en cada uno de los tratamientos, la muestra por tratamiento consistió de 21 hojas con lámina expandida y fotosintéticamente activas (tres hojas por unidad experimental). Se siguió el proceso similar realizado por Pérez-Zamora (2005) en hojas de naranjo valencia (*Citrus sinensis*); para ello, las hojas se lavaron con agua destilada y HCl diluido; se secaron a peso constante a 70°C durante 72 h, se molieron en molino con cuchillas de acero inoxidable y se tamizaron con una malla de 2 mm. Las muestras se molieron de nuevo en molino de ciclón, se tamizaron con una malla de 1 mm y se almacenaron en bolsas de plástico a 4°C. Para los análisis químicos, se incineraron muestras de 1 g en crisoles de porcelana a 600°C por 3 h, luego se solubilizaron en HCl 2 N caliente. Para eliminar interferencias aniónicas, la muestra se llevó a una solución final 0.02 N de La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El N se analizó con el procedimiento de Kjeldahl adaptado para plantas. El P se determinó con el método de Walls y Gehrke. Las muestras se analizaron por duplicado para K, Ca, Mg, S, Fe y Mn, por espectrofotometría de absorción atómica de llama. La determinación de B se hizo por el método de curcumina. La concentración mineral determinada en las hojas del guanábano se comparó con los requerimientos nutrimentales referidos por Soares et al. (2007) y Lima et al. (2009).

La unidad experimental estuvo constituida por una planta en un minirrizotrón. La distribución de los tratamientos fue completamente aleatorizada, con siete tratamientos y siete repeticiones cada uno (49 unidades experimentales). Los datos obtenidos en las diferentes variables de respuesta se sometieron a ANOVA's independientes, con pruebas de comparación medias por el método de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), usando el software MINITAB 16 (Minitab, 2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento del sistema radical

De acuerdo con las características fisicoquímicas de los suelos, en la Tabla 1, de mayor a menor fertilidad el orden es el siguiente: 1) premier pro-mix VFT®, 2) fluvisoleútrico, 3) vertisol y rendzina, 4) luvisol y cambisol, 5) gleysol. Las plantas

de guanábano que emitieron LR más largas (29.50 a 30.10 cm) así como un mayor NR (43 a 45 raíces) se obtuvieron en los suelos calcimórficos vertisol y cambisol; además de premier pro-mix VFT® que fue alto en LR, sin diferencia estadística entre ellos ( $\alpha=0.05$ ) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Longitud radical (LR), número de raíces (NR), altura de la planta (AP) y número de hojas (NH), obtenidos en plantas de guanábano (*Annona muricata* L.), 100 días después del trasplante

Tratamiento	LR (cm)	NR	AP (cm)	NH
Gleysol (saskab)	9.92 d	12 d	12.95 c	4 c
Luvisol (yaa'xhom)	21.07 c	31 c	14.28 b	7 b
Vertisol (k'áanKab)	30.10 a	43 a	16.85 a	11 a
Cambisol (ka' Kab)	29.50 a	45 a	15.81 a	11 a
Rendzina (áak'alché)	27.68 b	37 b	15.02 b	9 b
Fluvisoleútrico	23.35 c	32 c	15.90 a	10 a
Premier pro-mix VFT®	32.25 a	40 b	14.48 b	10 a
CV (%)	19.11	16.45	16.77	17.40
DMS	3.76	3.28	2.09	1.85

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.

Se esperaba fuera que en los suelos con más fertilidad, donde se observarían los mayores valores para estas variables, tal como ocurrió con el sustrato premier pro-mix VFT®; sin embargo, los suelos calcimórficos (con menor fertilidad) propiciaron un ambiente edáfico favorable para el crecimiento de los sistemas radicales, acorde a lo dicho por Lim (2012), pero difiere de lo mencionado por Cruz-Castillo et al. (2002).

La LR se modificó en respuesta a las condiciones fisicoquímicas del tipo de suelo. Lo cual corresponde a lo observado por Thaler & Pagès (1996) en plántulas de hule (*Hevea brasiliensis*) donde la elongación de la raíz principal presentó diferencias debidas al tipo de suelo, habiendo consigo diferente respuesta en la disponibilidad de fotoasimilados. Sin embargo, no se puede descartar la posibilidad de un mecanismo endógeno, donde exista una determinación genética para la construcción de las raíces y su anclaje al suelo (De Dorlodot et al., 2007).

Las determinaciones fisicoquímicas de la Tabla 2, no fueron suficientes para establecer una relación de causalidad que explicara la igualdad estadística en LR de las plantas, tanto en el sustrato como en los suelos calcimórficos vertisol y cambisol, lo cual indica que posiblemente existen otras características fisicoquímicas o biológicas involucradas, además de considerar que la estructura del sistema radical es geoméricamente compleja, dentro de la cual, la adquisición y utilización de recursos no es uniforme debido a su interacción dinámica en un ambiente edáfico físicamente heterogéneo (Hodge et al., 2009).

La naturaleza de los suelos calcimórficos tuvo un efecto directo en el NR, debido a que atributos como la textura arcillosa, la DAP (1.13 g·cm<sup>-3</sup>), el Ca (55 a 73 Cmol(+)kg<sup>-1</sup>) y el Mg (8.2 a 8.4 Cmol(+)kg<sup>-1</sup>), influyeron en una adecuada producción de raíces (hasta 45) a través de sus efectos interactivos con la humedad, la aireación y la absorción nutrimental del suelo, excepto en el gleysol. Comparando las características del sustrato premier pro-mix VFT® a base de turba (textura gruesa y macroporos  $r > 15 \mu\text{m}$ ), con las características de los suelos calcimórficos (textura arcillosa y

microporos  $r < 15 \mu\text{m}$ ) en la emisión de raíces, en estos últimos se obtuvo una mayor resistencia a la penetración debido a que muchas de sus cualidades se han modificado en favor de los monocultivos.

En el suelo gleysol se observó la menor LR, NR, AP y NH, debido a su baja fertilidad, muy altos contenidos de Ca ( $845 \text{Cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ) y Mg ( $101.80 \text{Cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ), y bajos niveles de MO (0.50%), N (0.05%), P ( $10.50 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) y K ( $0.11 \text{Cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ ); lo que pudo ocasionar una reducción en la disponibilidad de N y K, según Azevedo et al. (2004), y de micronutrientes como el Fe, Mn y B, según Soares et al. (2007) y Lima et al. (2009), lo cual se manifestó en una clorosis en las hojas que provocó la muerte de todas las plantas entre los 21 y los 42 días después del trasplante.

Las evaluaciones de las variables del crecimiento (sistema radical y parte aérea) de la Tabla 2, mostraron altos valores estadísticos en los suelos vertisol y cambisol, lo cual manifestó, la estrecha relación y balance que existe entre la expresión de la parte aérea del guanábano y su sistema radical, similar a lo reportado en cultivos como manzano (*Malus domestica*) (Costes et al., 2006), roble (*Quercus pubescens*) (Willaume & Pagès, 2011) y chaya (*Cnidioscolus chayamansa*) (Aguilar-Luna et al., 2012).

### Crecimiento de la parte aérea

Durante el primer año de desarrollo del guanábano, el crecimiento del sistema radical depende primeramente de las reservas almacenadas en las semillas y luego de los productos fotosintetizados (Evert et al., 2008). Por lo tanto, en esta investigación las plantas de guanábano no acumularon reservas en ningún tejido, debido a su crecimiento constante, tanto del sistema radical como de la parte aérea. Cuando fueron agotadas las reservas contenidas del endospermo, las plantas pasaron de un estado heterótrofo (al inicio de la germinación y principio de su juventud) a otro autótrofo con la entrada a la función fotosintética de sus nomófilos.

Los cotiledones a partir de su emergencia sobre el suelo, quedaron perpendiculares al eje epicotilar e iniciaron funciones como órganos fotosintetizadores, contribuyendo a independizar a la planta de las reservas que contenían, persistiendo hasta la aparición del cuarto nomófilo (55 días después del trasplante), misma que contribuyó al aporte nutrimental para la germinación y el desarrollo posterior a la emergencia, lo cual estuvo en relación con el crecimiento heterótrofo de toda la planta y especialmente del sistema radical. Presentaron pecíolo muy corto y no aumentaron su tamaño inicial; fueron alargados, elipsoidales y redondeados; presentaron limbos uniformemente planos, gruesos y coriáceos, con nervadura central y ramificaciones. Se manifestaron mediante cambios de color en su cuerpo, del verde al amarillento y luego al marrón, después de lo cual cayeron. Esto ocurrió cuando ya se habían formado hasta cuatro hojas fotosintéticamente activas (nomófilos) en las plantas de guanábano, lo que concuerda con lo descrito para la especie (Cruz-Castillo et al., 2002; Lim, 2012).

El desarrollo del tallo principal desde la germinación hasta el final del experimento (100 días después del trasplante), se caracterizó por ser monopódico, ortotrópico y continuo. Esta etapa forma parte del período joven de la especie, que puede

prolongarse hasta los 48 meses aproximadamente. Durante este periodo hubo formación de yemas vegetativas axilares, hojas fotosintéticamente activas, nudos y entrenudos.

La primera hoja (nomófilo) se presentó por encima de los cotiledones y su lámina quedó completamente expandida a los 55 días después de emergida la plántula. Estas hojas presentaron filotaxia alterna, fueron simples, elípticas, con ápice acuminado y de base redondeada. Presentaron pecíolo corto, ligeramente acanalado con un par de estípulas tempranamente caedizas, las cuales se localizaron a nivel de la inserción con el tallo, lo cual coincidió con lo descrito por Cruz-Castillo et al. (2002) y Lim (2012).

La AP fue una de las variables más importantes, porque a simple vista permitió conocer en cuál tipo de suelo las plantas de guanábano crecieron más. Mientras que el NH desarrolladas tiene que ver con la capacidad de producción de biomasa (materia seca), la cual resulta de la asimilación del  $\text{CO}_2$  que no se gasta en la respiración y puede ser utilizado para el crecimiento y como reserva. En la Tabla 2, se observó diferencia estadística ( $\alpha 0.05$ ) para las variables AP y NH, valores máximos fueron observados en las plantas desarrolladas en los suelos calcimórficos vertisol y cambisol (15.81 a 16.85 cm y 11 hojas, respectivamente), que igualmente fueron sobresalientes en LR y NR; lo cual coincide con los estudios de Willaume & Pagès (2011), quienes mencionaron que existe una relación positiva en la que a mayor NR mayor NH. Para AP también fue sobresaliente el suelo fluvisoleútrico (15.90 cm), y para NH el fluvisoleútrico y el sustrato premier pro-mix VFT<sup>□</sup> (10 hojas, respectivamente).

El mayor NH (11 hojas fotosintéticamente activas) en cambisol y vertisol se debió a que ambos presentaron un ambiente fisicoquímico adecuado para el desarrollo de las plantas (Tabla 1); lo cual, contribuyó a la regulación hídrica y osmótica de las células, y consecuentemente a la expansión laminar (Tavora et al., 2004; Taiz & Zeiger, 2006). El NH está íntimamente relacionado con la actividad meristemática, ya que es el mismo fenómeno el que forma tanto al tallo como a las hojas (Evert et al., 2008).

Durante la etapa inicial de su crecimiento (plántula), el guanábano primero desarrolló un abundante sistema radical para brindar a su parte aérea la función de sostén y absorción nutrimental; de los 40 a 50 días después de la siembra, los cotiledones se iniciaron como órganos fotosintetizadores y la plúmula comenzó a crecer (Figura 1). A partir de los 45 días (trasplante a los minirrizotrones e inicio del experimento), las plantas tuvieron un comportamiento lineal en ambos sistemas (radical y aéreo), pero en un momento que fue variable entre los 25 y 75 días las velocidades entre el sistema radical y la parte aérea se invirtieron, siendo el crecimiento del sistema radical superior a su parte aérea; sólo en el gleysol (Figura 2A), nunca se observó este comportamiento invertido en las velocidades, debido a que en éste, las plantas murieron antes de los 42 días después del trasplante. Esto indica que la raíz se encontraba en crecimiento activo, mientras la parte aérea se mantenía en reposo, o sea que primero crece un sistema y después el otro (Fourcaud et al., 2008).

En una primera etapa (0 a 25 días), hubo un crecimiento lineal en el cual la parte aérea siempre fue superior al sistema

radical en todos los tratamientos (Figuras 2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F y 2G). Se inició un crecimiento rítmico en el que mientras se desarrollaba lentamente la raíz, la parte aérea crecía intensamente y viceversa.

Sin embargo, el tiempo de observación (100 días) no fue suficiente para observar un ciclo de alternancia completo en el que la velocidad de crecimiento de la parte aérea volviera a superar a la del sistema radical. En esta etapa, el crecimiento del sistema radical estuvo supeditado a una baja competencia con el crecimiento vegetativo aéreo y dependió principalmente de la temperatura y la humedad del suelo, resultados similares se presentaron en manzano (*Malus domestica*) (Costes et al., 2006), en roble (*Quercus pubescens*) (Willaume & Pagès,

2011) y en chaya (*Cnidoscolus chayamansa*) (Aguilar-Luna et al., 2012).

En una segunda etapa (25 a 75 días), las velocidades de crecimiento fueron de 0.2 a 0.4 cm·día<sup>-1</sup> y se registró una alternancia (Figura 2), es decir, la velocidad de crecimiento de la raíz superó a la de la parte aérea (excepto en el gleysol) (Figura 2A). Se observó una alternancia asincrónica en los crecimientos, en la que cuando el crecimiento del tallo fue menor que el de la raíz, los fotosintatos se estuvieron trasladando al meristemo apical de la raíz donde hubo división celular y alargamiento; por lo tanto disminuyó la actividad celular en el meristemo apical del tallo. Complementariamente cuando la velocidad de crecimiento del tallo fue mayor que en la raíz, la

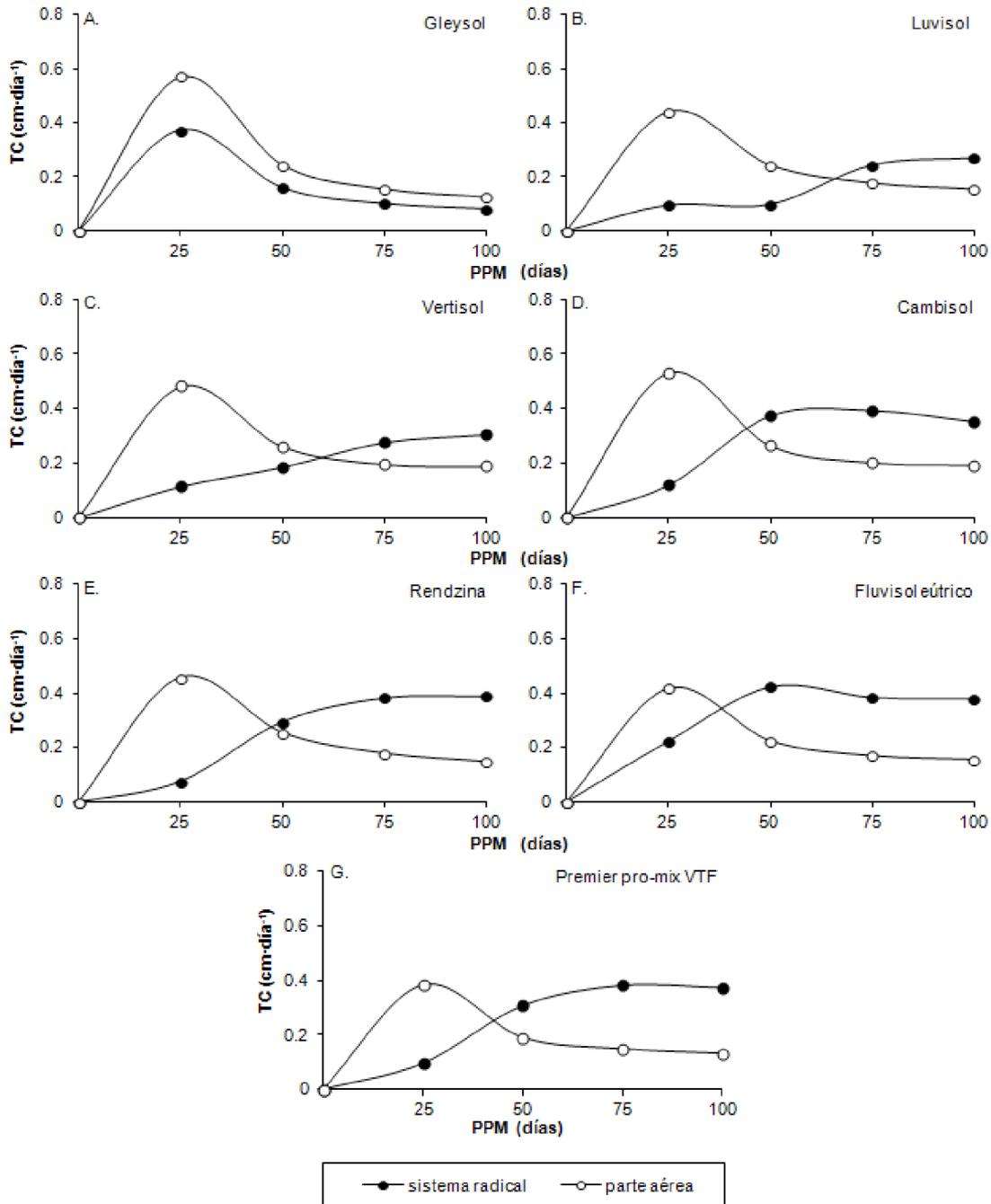


Figura 2. Tasa de crecimiento (TC) de plantas de guanábano (*Annona muricata* L.), establecidas en diferentes tipos de suelo. PPM: permanencia de la planta en el minirrizotrófon

parte aérea estuvo en crecimiento intenso por lo cual el sistema radical detuvo su crecimiento y demanda de fotosintatos; resultados similares fueron obtenidos por Aguilar-Luna et al. (2011) en un sistema agroforestal con cedro (*Cedrela odorata*), lima (*Citrus latifolia*) y chaya (*Cnidioscolus chayamansa*).

Muchos estudios dedicados a la ritmicidad del crecimiento han demostrado la existencia de una alternancia del crecimiento entre la raíz y la parte aérea; por ejemplo: en manzano (*Malus domestica*) (Costes et al., 2006), en roble (*Quercus pubescens*) (Willaume & Pagès, 2011) y en chaya (*Cnidioscolus chayamansa*) (Aguilar-Luna et al., 2012); en los cuales se argumenta que la ramificación radical es promovida, en gran parte por el desarrollo de las hojas. Esta ritmicidad del crecimiento se observó en las plantas de guanábano, de esta manera, la estrecha relación que guardan ambos componentes estructurales parece ser una generalidad sin importar la especie o el ambiente en el que se desarrollen (Fourcaud et al., 2008).

Fourcaud et al. (2008), también afirmaron que el crecimiento es consecuencia del funcionamiento de los meristemas; su localización y actividad temporal determinan la tasa de crecimiento comportándose como un sistema integrado y regulado de relaciones interdependientes, en el cual el fenómeno de silepsis y prolepsis, no son fundamentalmente independientes puesto que mantienen una relación de equilibrio entre el crecimiento radical y el aéreo y que si se produce un cambio en alguno de ellos, se produce también en su contraparte. Este hecho se observó en el suelo gleysol, el cual al no reunir las condiciones fisicoquímicas requeridas para el desarrollo de las plantas (Tabla 1), primeramente vio afectado su sistema radical, el cual no pudo absorber los nutrientes necesarios ni tampoco fue capaz de transportarlos a su parte aérea para su transformación química, por lo cual las plantas detuvieron su crecimiento y al poco tiempo murieron.

### Contenido nutrimental en hojas

En la Tabla 3, se encontró diferencia estadística ( $\alpha \leq 0.05$ ) asociada al contenido nutrimental en hojas (CNH); en el suelo luvisol las hojas del guanábano acumularon más Ca y Fe; en vertisol más N, Ca, Mg y Fe; en cambisol más Ca y Fe; en rendzina más Ca y Mg; en fluvisoleútrico más N, P, K, S, B y Mn; y en el sustrato premier pro-mix VFT® más N, K y Mn.

En los suelos calcimórficos, las hojas del guanábano que tuvieron los menores contenidos nutrimentales se observaron en P, K, S y B; sin embargo, no se presentaron deficiencias, lo que coincide con lo reportado por Soares et al. (2007) y Silva de Lima et al. (2009) al verificar que la omisión de N, P, K, Ca, Mg y S

en plántulas de guanábano, no manifestaron deficiencias en hojas (durante el primer mes de observación después del trasplante), tales como: clorosis, enrollamiento de bordes o ápices de las láminas, ni alargamientos anormales en los entrenudos, lo que indica que las reservas del endospermo fueron suficientes durante este periodo. Sólo en el gleysol, las plantas de guanábano murieron después de mostrar algunos síntomas de toxicidad como: clorosis, y necrosis en hojas, tallos y raíces.

Se realizó un análisis para verificar si existe una relación entre la concentración de nutrientes en el suelo y su disponibilidad en hojas; solo se consideraron los suelos calcimórficos (luvisol, vertisol, cambisol y rendzina) en donde hubo una respuesta positiva del crecimiento, según la Tabla 2. El suelo gleysol no fue considerado porque en él, las plantas de guanábano murieron entre los 21 y los 42 días después del trasplante; tampoco se consideró el suelo fluvisoleútrico el sustrato premier pro-mix VFT® porque el objetivo principal se centró en los suelos calcimórficos.

La variable independiente (contenido nutrimental en el suelo) y la variable dependiente (contenido nutrimental en hoja), mostraron una correlación positiva para N, P, Ca y Mg (Figuras 3A, 3B, 3D y 3E).

Lo que sugiere que la disponibilidad de estos nutrientes en la solución del suelo, fue suficiente para promover su acumulación nutrimental en las hojas, en las condiciones de este experimento. En el caso del K (Figura 3C), su correlación fue negativa, es decir, la concentración de K en los suelos calcimórficos fue de  $0.30 \text{ Cmol}(+)\text{kg}^{-1}$  (baja), por lo tanto no fue suficiente para cubrir las necesidades nutrimentales del cultivo, lo cual se manifestó en una menor acumulación de este elemento en las hojas.

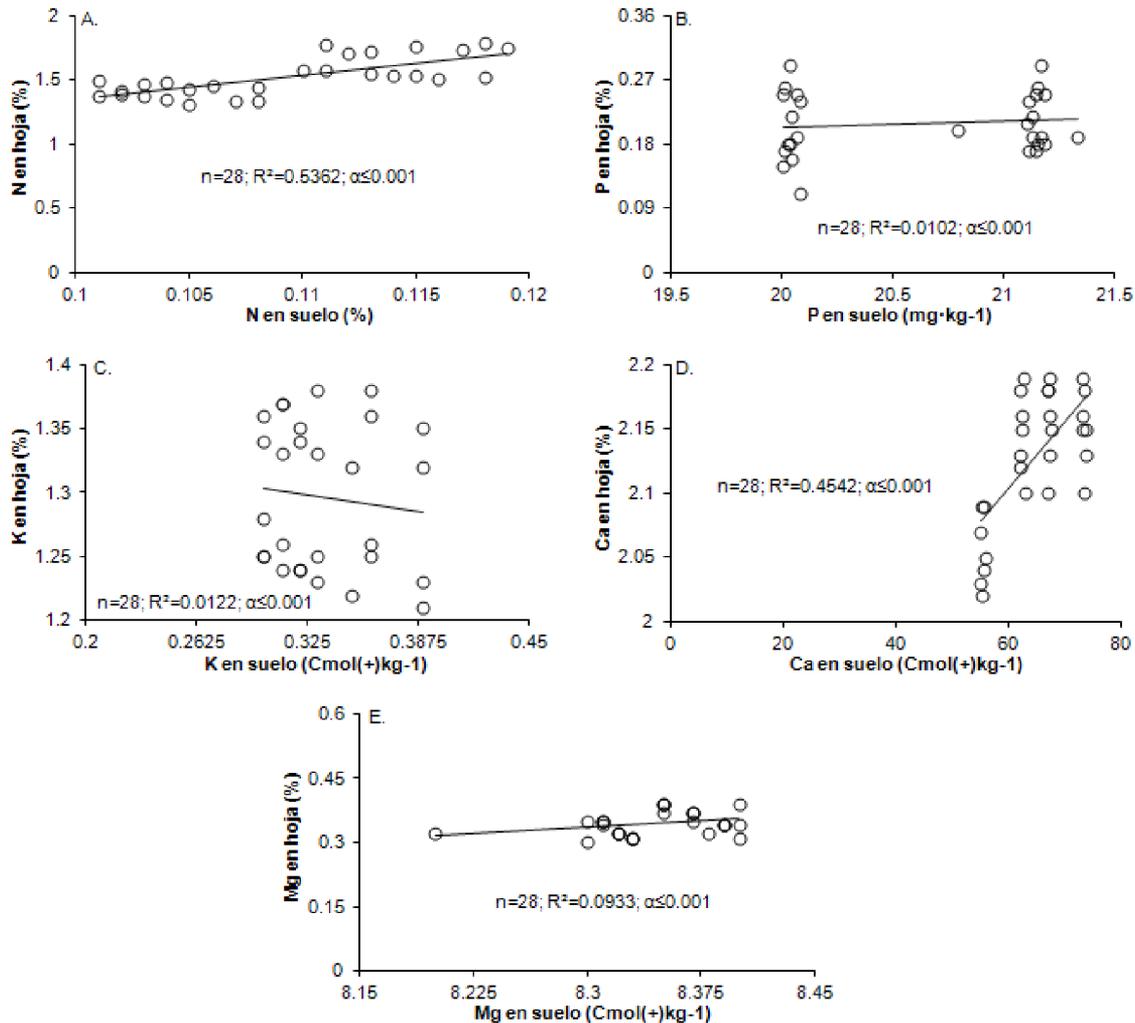
Para N y Ca el valor de  $R^2$  ya tiende a ser significativo aunque los tamaños de muestra sean pequeños; así, la relación calculada entre la concentración de N en el suelo y en hoja fue  $y = 18.942x - 0.5458$  (Figura 3A), mientras que para Ca en el suelo y en hoja fue  $y = 0.0051x + 1.795$  (Figura 3D). Para P, K y Mg el valor de  $R^2$  fue bajo, lo cual no indica que no exista correlación dado que "r" infraestima la asociación de las variables al medirlas linealmente e incluso pueden estar influenciadas por una tercer variable (como el tipo de suelo); así, la relación calculada para P en el suelo y en hoja fue  $y = 0.0079x + 0.045$  (Figura 3B), para K en el suelo y en hoja fue  $y = -0.2076x + 1.3661$  (Figura 3C) y para Mg en el suelo y en hoja fue  $y = 0.1945x - 1.2791$  (Figura 3E).

En general, estos resultados manifestaron que a mayor concentración de N, P, Ca y Mg en la solución del suelo, mayor

**Tabla 3.** Contenido nutrimental en hojas de guanábano (*Annona muricata* L.), 100 días después del trasplante

Tratamiento	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	B (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
Gleysol (saskab)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Luvisol (yaaxhom)	1.37 c	0.18 c	1.26 c	2.12 a	0.30 b	0.11 c	10 c	144 a	137 b
Vertisol (k'áanKab)	1.78 a	0.21 b	1.37 b	2.09 a	0.34 a	0.12 c	14 c	157 a	138 b
Cambisol (ka' Kab)	1.49 b	0.20 c	1.25 c	2.15 a	0.32 b	0.11 c	11 c	143 a	133 b
Rendzina (áak'alché)	1.50 b	0.19 c	1.34 b	2.18 a	0.35 a	0.10 c	12 c	135 b	136 b
Fluvisoleútrico	1.76 a	0.29 a	2.60 a	1.71 b	0.20 c	0.25 a	51 a	103 c	197 a
Premier pro-mix VFT®	1.72 a	0.23 b	2.13 a	1.83 b	0.18 c	0.20 b	45 b	110 c	210 a
CV (%)	18.75	19.83	20.12	20.40	19.56	18.90	18.71	19.68	20.20
DMS	0.23	0.03	0.39	0.30	0.10	0.04	13.83	29.00	25.50

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). CV: coeficiente de variación; DMS: diferencia mínima significativa.



**Figura 3.** Relación lineal entre los contenidos nutrimentales (N, P, K, Ca y Mg) del suelo y de la hoja en plantas de guanábano (*Annona muricata* L.), establecidas en suelos calcimórficos

fue la acumulación de los mismos en las hojas del guanábano; existiendo, como lo señalaron Fourcaud et al. (2008) y Walter et al. (2009) una relación dependiente y directa entre la condición del sistema radical y la parte aérea.

De acuerdo con las características fisicoquímicas de la Tabla 1, los suelos calcimórficos utilizados en esta investigación, son deficientes en K; medianamente abundantes en CIC, MO, N y P; altos en Ca y Mg. Son escasos los trabajos que describen con detalle las propiedades distintivas de los suelos calcimórficos, principalmente las químicas relacionadas con su fertilidad (Bautista & Palacio, 2005). En general, por el análisis realizado a los suelos utilizados en esta investigación, se afirma que todos ellos, excepto el gleysol, reúnen las condiciones físicas para la germinación y fisicoquímicas para el desarrollo de las plantas de guanábano, porque el crecimiento del sistema radical y parte aérea fue satisfactorio y porque no se observaron síntomas de deficiencias en hojas.

## CONCLUSIONES

Las plantas de guanábano tuvieron un crecimiento postgerminativo (sistema radical y parte aérea) satisfactorio en los suelos calcimórficos vertisol (k'áanKab) y cambisol (ka'

Kab), intermedio en luvisol (yaaxhom) y rendzina (áak'alché), y nulo en gleysol (saskab).

En dichos suelos el guanábano creció a una tasa de 0.22 cm.día<sup>-1</sup> en su sistema radical y de 0.26 cm.día<sup>-1</sup> en su parte aérea, debido en gran medida a la acumulación de reservas contenidas en el endospermo. Aunque también, a mayor disponibilidad de N, P, Ca y Mg en la solución del suelo, hubo mayor concentración de los mismos en las hojas.

## LITERATURA CITADA

- Aguilar-Luna, J.M.E.; García-Villanueva, E.; Macario-Mendoza, P.A.; Huerta-Lwanga, E.; de Alba-Becerra, R. Effect of the plantation density in the growth and productivity of *Cnidioscolus chayamansa* Mc Vaugh (Euphorbiaceae). Tropical and Subtropical Agroecosystems, v.15, p.77-86, 2012. <<http://www.veterinaria.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1195/713>>. 28 Jul. 2012.
- Aguilar-Luna, J.M.E.; Macario-Mendoza, P.A.; Hernández-Daumás, S.; Huerta-Lwanga, E.; de Alba-Becerra, R. Crecimiento y productividad en la asociación agroforestal 'cedro-lima-chaya' a diferente densidad de plantación. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.6, n.4, p.694-702, 2011. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i4a1376>>

- Azevedo, B.; de Holanda, M.; de Souza, R.; de Alcantara, F.; de Viana, M. Effects of application of nitrogen and potassium through the irrigation water in a soil cultivated with soursop. *Revista Ciência Agronômica*, v.35, n.2, p.410-417, 2004. <[www.ccarevista.ufc.br/site/down.php?arq=19rca35-2.pdf](http://www.ccarevista.ufc.br/site/down.php?arq=19rca35-2.pdf)>. 28 Jul. 2012.
- Bautista, F.; Palacio, G. Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Ciudad de México: Universidad Autónoma de Campeche y Universidad Autónoma de Yucatán, 2005. 282p.
- Costes, E.; García-Villanueva, E.; Jourdan, C.; Regnard, J.L.; Guédon, Y. Co-ordinated growth between aerial and root systems in young apple plants issued from *in vitro* culture. *Annals of Botany*, v.97, n.1, p.85-96, 2006. <<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcj003>>
- Cruz-Castillo, C.J.; Torres-Lima, P.A.; Delgado-Matus, J.C.; Domínguez-Martínez, V.; Martínez-Pérez, D.; Franco-Mora, O. El guanábano. *Agronomía y usos de frutales tropicales*. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, 2002. 177p.
- De Dorlodot, S.; Forster, B.; Pagès, L.; Price, A.; Tuberosa, R.; Draye, X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. *Trends in Plant Science*, v.12, n.10, p.474-481, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2007.08.012>>
- Evert, R.F.; Esau, K.; Eichhorn, S.E. *Esau anatomía vegetal: meristemas, células y tejidos de las plantas: su estructura, función y desarrollo*. v. 1, 3.ed. Barcelona: Ed. Omega, 2008. 614p.
- Fourcaud, T.; Zhang, X.; Stokes, A.; Lambers, H.; Körner, C. Plant growth modelling and applications: the increasing importance of plant architecture in growth models. *Annals of Botany*, v.101, p.1053-1063, n.8, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcn050>>
- Hodge, A.; Berta, G.; Doussan, C.; Merchan, F.; Crespi, M. Plant root growth, architecture and function. *Plant and Soil*, v.321, n.1-2, p.153-187, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-9929-9>>
- Hunt, R.; Causton, D.R.; Shipley, B.; Askew, A.P. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*, v.90, n.4, p.485-488, 2002. <<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcf214>>
- Kaspar, T.C.; Ewing, R.P. Rootedge: software for measuring root length from desktop scanner images. *Agronomy Journal*, v.89, n.6, p.932-940, 1997. <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900060014x>>
- Lim, T.K. *Edible medicinal and non-medicinal plants: volume 1, fruits*. Nueva York: Springer, 2012. 835p.
- Lima, R.L.S. de; Baller-Weber, O.; Esfrain-Pereira, W.; Correia, D.; Sofiatti, V.; Neiva-Brandão, Z.; Barbosa-Ferreira, G. Crecimiento e teores de nutrientes em mudas de gravioleira cultivadas em seis substratos. *Engenharia Ambiental*, v.6, n.3, p.594-606, 2009. <<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=353&layout=abstract>>. 28 Jul. 2012.
- Minitab Inc. Software para estadísticas de Minitab, Versión 16 en español para Windows, State College, Pennsylvania. <<http://www.minitab.com>>. 10 Mayo 2010.
- NOM. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación* el 23 de abril de 2003.
- Pérez-Zamora, O. Concentración nutrimental en hojas de naranjo valencia injertado en portainjertos de cítricos. *TERRA Latinoamericana*, v.23, n.1, p.39-47, 2005. <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57323106>>. 28 Jul. 2012.
- Shi, J.; Wang, Z.; Yu, S.; Quan, X.; Sun, Y.; Jia S.; Mei, L. Estimation of fine root production, mortality and turnover with minirhizotron in *Larixmelinii* and *Fraxinus mandshurica* plantations. *Frontiers of Biology in China*, v.3, n.4, p.496-506, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11515-008-0084-0>>
- Soares, I.; Costa-Lima, S.; Araújo-Crisóstomo, L. Crecimiento e composição mineral de mudas de gravioleira em resposta a doses de fósforo. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.4, p.343-349, 2007. <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/92>>. 28 Jul. 2012.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiología vegetal*. D.L. 3ra. Castelló de la Plana: Universitat Jaume I, 2006. 1336p.
- Tavora, F.J.; Lima, E. da C.; Hernandez, F.F. Mineral composition of roots, stems and leaves of young soursop plants under saline stress. *Revista Ciência Agronômica*, v.35, n.1, p.44-51, 2004. <<http://www.ccarevista.ufc.br/site/down.php?arq=05rca35-1.pdf>>. 28 Jul. 2012.
- Thaler, P.; Pagès, L. Root apical diameter and root elongation rate of rubber seedlings (*Hevea brasiliensis*) show parallel responses to photoassimilate availability. *Physiologia Plantarum*, v.97, p.365-371, 1996. <<http://dx.doi.org/10.1034/j.1399-3054.1996.970222.x>>
- Utsunomiya, N.; Higuchi, H. Effects of irradiance level on the growth and photosynthesis of cherimoya, sugar apple and soursop seedlings. *Environment Control in Biology*, v.34, n.3, p.201-207, 1996. <<http://dx.doi.org/10.2525/ecb1963.34.201>>
- Walter, A.; Silk, W.K.; Schurr, U. Environmental effects on spatial and temporal patterns of leaf and root growth. *Annual Review of Plant Biology*, v.60, p.279-304, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092819>>
- Willaume, M.; Pagès, L. Correlated responses of root growth and sugar concentrations to various defoliation treatments and rhythmic shoot growth in oak tree seedlings (*Quercus pubescens*). *Annals of Botany*, v.107, p.653-662, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcq270>>