

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

## Growth behavior of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings planted at nurseries with different substrate volumes

Mauricio Gutiérrez R.<sup>1</sup>, Raul Gómez S.<sup>2</sup>,  
Nelson Facundo Rodríguez L.<sup>1</sup>

## ABSTRACT

The increasing demand for cocoa crops requires high quality plant production. Plants grown in containers or pots have limited nursery survival. The space for root growth and substrate volume in cocoa seedlings in a nursery were tested using diverse plastic containers: tubete (0.4 L), bag (1.6 L) and bucket (3.0 L), the treatments were distributed in a completely random experimental design. Leaf number, width, length; stem and root length; plant height; stem diameter; leaf, stem, root and total fresh weight were evaluated. The cocoa seedlings observed were significantly affected ( $P \leq 0.05$ ) by the restriction of space and volume in the root growth area. The highest growth restriction was in the tubete, where container substrate volume is only 1 kg compared with the bag/3 kg and the bucket/5 kg. The development of seedlings grown in tubete was normal until 60 days compared with the bag and the bucket. Abnormal plant growth occurred in the bucket at 120 days and the bag at 90 days.

**Keywords:** plant propagation, nursery plants, growth, root restriction, fruit crops.

## Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato

## RESUMEN

La creciente demanda del cacao requiere la producción de plantas de alta calidad y su crecimiento en materia, limita su sobrevivencia en vivero. Se evaluó el efecto del espacio de crecimiento radicular y volumen de sustrato sobre el crecimiento de plantas de cacao, empleando diferentes envases plásticos: tubete (0,4 L), bolsa (1,6 L) y balde (3 L) en vivero. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar. Los caracteres evaluados fueron: número de hojas, ancho de las hojas, longitud de las hojas, longitud del tallo, longitud de la raíz, altura de la planta, diámetro del tallo, peso fresco de las hojas, peso fresco del tallo, peso fresco de la raíz y peso fresco total. El crecimiento de las plántulas de cacao se vieron afectadas significativamente ( $P \leq 0,05$ ) con la reducción del espacio y volumen donde se desarrolla la raíz en etapa de vivero. Se encontró mayor restricción en el crecimiento de la raíz y de estructuras aéreas en el recipiente tubete, donde el volumen de sustrato es únicamente de 1 kg, comparativamente con la bolsa de 3 kg y el balde de 5 kg, acentuándose más esta restricción a través del tiempo. Las plántulas que crecieron en el recipiente de 1 kg se desarrollaron normalmente hasta los 60 días, con una tasa de crecimiento posterior muy baja comparativamente con la bolsa y la materia donde en esta última no se presentó estrés hasta los 120 días ya que contaron con mayor espacio y cantidad de nutrientes. En el caso de la bolsa el incremento la tasa de crecimiento fue muy bajo a partir de los 90 días.

**Palabras clave:** propagación de plantas, plantas de vivero, crecimiento, restricción radicular, frutales.

## INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta perenne tropical, nativa del sotobosque de los bosques húmedos de Suramérica (Motamayor *et al.*, 2002; Lachenaud *et al.*, 2007). El cacao es una planta leñosa antes clasificada en la familia Sterculiaceae (Cuatrecasas, 1964), y actualmente reclasificada en la familia Malvaceae (Alverson *et al.*, 1999). El cacao es considerado como uno de los cultivos perennes más importantes del planeta (Almeida y Valle, 2007; ICCO, 2007), con un estimado de producción mundial de 3,5 millones de toneladas en el 2006 (ICCO, 2007). Tradicionalmente el cacao es explotado comercialmente para la producción de semillas, principalmente destinadas en la fabricación de chocolate, así como por su potencial en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Kalvatchev *et al.*, 1998).

El potencial que tiene el suelo para los cultivos está principalmente determinado por el ambiente que este ofrece al

Fecha de recepción 2010-10-04  
Fecha de aceptación 2010-11-02

<sup>1</sup> Grupo Nacional de Investigación en Ecofisiología y Metabolismo Vegetal Tropical, Universidad Industrial de Santander - UIS. Bucaramanga (Colombia). mauriciogr8888@gmail.com; fisionel@ciencias.uis.edu.co

<sup>2</sup> Estación Experimental La Suiza, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. Rionegro (Colombia). rgomez@corpoica.org.co

crecimiento de la raíz (Persson, 1983) y en la medida que la planta ocupe mayor cantidad de espacio físico puede captar mayor cantidad de recursos (McConnaughay y Bazzaz, 1992). El sistema radicular de *T. cacao* consta de una raíz principal pivotante, a partir de la cual crecen raíces secundarias, dispuestas en los primeros 30 cm de suelo (Miyaji *et al.*, 1997). En las plantas que crecen en ambientes espacialmente limitados, el despliegue de sus órganos puede deprimirse, generando una reducción en la capacidad de adquisición de recursos, limitando el crecimiento y la productividad (McConnaughay y Bazzaz, 1991). En la naturaleza la restricción en el volumen del suelo disponible para el crecimiento de la raíz puede evidenciarse en la limitación del espacio, producto de los sistemas radiculares de las plantas vecinas. Esta fragmentación del espacio puede reducir el crecimiento de la planta.

Debido a la creciente demanda de clones de cacao de buena calidad, se debe buscar mayor eficiencia en las técnicas de propagación, principalmente en lo relacionado con el desarrollo más acelerado de los patrones para disminuir el tiempo de permanencia de la raíz en recipientes que afectan el desarrollo radicular y generan malformaciones de estas, donde juega un papel importante el tamaño del recipiente utilizado para la siembra. Es así por ejemplo, la utilización de bolsas de buen tamaño como recipientes de propagación en los viveros de café permite producir plantas en menor tiempo, con mayor capacidad de soportar el estrés asociado con el trasplante en el campo y posibilita un uso más eficiente de los recursos involucrados en la producción, mediante la aplicación de fertilizante y el uso de recipientes adecuados de acuerdo al hábito de crecimiento de la especie, lo cual influye en la morfología y fisiología de la planta (Birchler *et al.*, 1998).

La definición del tamaño del envase plástico es muy importante tanto para los productores como para los compradores de plántulas (NeSmith y Duval, 1998). Una tendencia entre muchos productores comerciales de plántulas va hacia un mayor número de celdas por bandeja (receptáculos más pequeños), lo cual incrementa el número de plantas producidas, y reduce la necesidad de más espacio para la producción de estas (Vavrina, 2002). Esta tendencia también reduce los costos de propagación por planta, ya que los costos de producción están directamente relacionados con el tamaño y tipo de envase (Marsh y Paul, 1988). En los recipientes de propagación más grandes, la capacidad de reserva de agua y nutrientes es mayor, y dentro de ciertos límites, hay mayor desarrollo de raíces pero aumenta su costo (Arizaleta y Pire, 2008). Sin embargo, aunque el uso de recipientes pequeños puede mejorar la eficiencia de la producción de plantas, no está claro como las plantas que crecen en estos pequeños volúmenes de sustrato pueden comportarse bajo condiciones de campo al ser trasplantadas. Uno de los mayores efectos de la disminución del ta-

maño del envase bajo condiciones experimentales, es que esto incrementa la restricción del crecimiento de la raíz (NeSmith y Duval, 1998).

Según NeSmith y Duval (1998), las plantas pueden presentar cambios morfológicos y fisiológicos en respuesta a la reducción en el volumen de espacio disponible para el desarrollo de la raíz, lo cual puede afectar su normal desarrollo. El crecimiento de la raíz y del vástago, la acumulación de biomasa, la fotosíntesis, el contenido de clorofila, la toma de nutrientes, la respiración, el florecimiento, son procesos que pueden verse afectados por la restricción en la raíz y el tamaño del contenedor. El efecto del volumen de suelo como generador de restricción radicular se ha evaluado en diversas plantas como *Coffea arabica* (Ronchi *et al.*, 2006). Muchos estudios sobre la fisiología de los cultivos se han realizado con plantas cultivadas en recipientes pequeños, los cuales limitan el crecimiento de la raíz (DaMatta, 2003).

Por tanto, basados en la necesidad de conocer los patrones de respuesta de plantas de cacao propagadas en diferentes tamaños de envases, se evaluó el efecto del espacio y volumen del sustrato de propagación en el crecimiento de plántulas de cacao en diferentes tamaños con el fin de conocer las alteraciones en el crecimiento a nivel de la raíz y las hojas como agente restrictivo del crecimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental "La Suiza" de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria "Corpoica" en Rionegro - Colombia, ubicada a 7° 22' 11,14" N y 73° 10' 37,92" O a 540 msnm, temperatura media anual 28°C y humedad relativa de 85%. Se seleccionaron y obtuvieron 300 semillas de cacao a partir de la recolección de mazorcas maduras de la variedad IMC 67 de los huertos de la estación y se establecieron en sustrato en proporción 3:1:1 de suelo, arena y lombricompost. El sustrato fue sometido a solarización para eliminación de patógenos (Katan, 1981). Las semillas fueron distribuidas en un diseño experimental completamente al azar en 3 tratamientos, correspondientes a tres tipos de recipientes o contenedores de propagación con diferente tamaño y capacidad de almacenamiento de sustrato: Tubetes cónicos de 25 x 8 cm y capacidad de 1 kg, bolsas plásticas de 28 x 9 cm y capacidad de 3 kg y baldes plásticos de 28 x 28 y capacidad de 5 kg.

Las plántulas patrón fueron mantenidas en un vivero con polisombra del 60%, irrigación diaria automática por aspersión durante 2 horas posterior a las 18 h. Se registró una temperatura ambiente promedio máxima y mínima de 30/14 ± 1°C, mediante el uso de un termómetro de máximas y mínimas (Brixco).

**Parámetros evaluados.** Se realizaron muestreos cada 30 días, durante 7 meses a partir de los 30 días después de la germinación de las semillas, utilizando como unidad experimental 5 plantas por tratamiento y se midieron las siguientes variables o caracteres de crecimiento: número de hojas (NH); ancho de las hojas (AH), longitud de las hojas (LH); longitud del tallo (LT); longitud de la raíz (LR); altura de la planta (AP); diámetro del tallo (DT), distancia entre el cotiledón y la base del tallo (calibrador); peso fresco de las hojas (PFH), peso fresco del tallo (PFT), peso fresco de la raíz (PFR), peso fresco total (PFTT), usando balanza analítica.

**Análisis estadístico:** Se realizaron pruebas a priori de normalidad y homogeneidad de varianzas, según las pruebas de Kolmogorov Smirnov y de Levene, respectivamente (Zar, 1999). Para lograr que todas las variables cumplieran con las asunciones de normalidad y homogeneidad de varianzas, previo a la ANOVA fue necesario ajustar dichos caracteres mediante las siguientes transformaciones: número de hojas (NH):  $\sqrt{X+1}$ , diámetro de las hojas (AH):  $1/\sqrt{X}$ , longitud de las hojas (LH):  $\text{COS}(X)$ , longitud del tallo (LT):  $1/(X+1)$ , longitud de la raíz (LR):  $\text{Log } 10(X)$ , altura de la planta (AP):  $\text{COS}(X)$ , diámetro del tallo (DT):  $\sqrt{(X)+1/2}$ , peso fresco de las hojas (PFH):  $\text{LN}(X)$ , peso fresco del tallo (PFT):  $\text{Log } 10(X)$ , peso fresco de la raíz (PFR):  $\text{LN}(X)$ , peso fresco total (PFTT):  $\text{COS}(X)$ . Fue empleado el *software* estadístico SAS.

A los datos obtenidos en cada una de las variables de respuesta se les hizo el análisis de varianza para determinar las diferencias estadísticas entre los tratamientos factoriales, teniendo en cuenta como variables dependientes los 12 diferentes caracteres de crecimiento seleccionados, y como fuentes de variación u factores fijos, la edad ontogenética (siete muestreos) y los 3 tratamientos (T<sub>1</sub>: tubete; T<sub>2</sub>: bolsa; T<sub>3</sub>: balde), así, como la interacción tratamiento por muestreo. Para las diferentes fuentes de variación con significancia estadística se les realizó la prueba de compa-

ración de medias de Tukey con el fin de discriminar las diferencias entre tratamientos, muestreos, y su interacción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tamaño del recipiente y restricción radicular** - Las plantas de cacao presentaron diferencias morfológicas y de crecimiento en los diferentes caracteres evaluados (Tabla 1). Se hallaron diferencias significativas frente a los tratamientos, muestreos y en la interacción entre tratamientos y muestreos en los caracteres: número de hojas (NH), ancho de las hojas (AH), longitud del tallo (LT), longitud de la raíz (LR), diámetro del tallo (DT), peso fresco de las hojas (PFH), peso fresco del tallo (PFT) y peso fresco de la raíz (PFR). La longitud de las hojas (LH), solo alteró su expresión significativamente al efecto de los tratamientos. Se determinó ausencia de alteración significativa en los caracteres altura de la planta (AP) y peso fresco total (PFTT), frente a los tratamientos, muestreos y en su interacción (Tabla 1).

Según el análisis de varianza y la prueba de Tukey, se encontró la menor magnitud de todos los caracteres en el tratamiento de tubetes (Figura 1). Se determinó un incremento en la magnitud de los caracteres a medida que aumentó el tamaño del envase en relación con el más pequeño que fue el tubete (Figura 1), pero entre bolsa y balde no se encontraron diferencias significativas (Figura 1a, d, f, g, h, i). El carácter LR presentó su mayor magnitud en el tratamiento de bolsa (Figura 1e), mientras que para el AH y LH ocurrió en balde (Figura 1b, c).

Las plantas de cacao respondieron a la limitación del volumen del sustrato y espacio de crecimiento, a través de restricción del crecimiento de la raíz y de estructuras aéreas de las plantas, por lo tanto y en general, el tamaño y capacidad volumétrica de los contenedores alteró significativamente ( $P \leq 0,05$ ) el crecimiento y desarrollo de estructuras

**Tabla 1.** Análisis de varianza (valor F) para la evaluación de caracteres vegetativos de plantas de cacao en tres tratamientos correspondientes a contenedores con diferentes tamaños y capacidades volumétricas, tubete (0,4 L), bolsa (1,6 L), balde (3,0 L).

Carácter	Tratamiento (T)	Muestreo (M)	T X M
Número de hojas (NH)	18,690 ***	16,571 ***	2,585 **
Ancho de las hojas (AH)	16,543 ***	10,472 ***	3,087 **
Longitud de las hojas (LH)	3,549 *	0,318 NS	0,834 NS
Longitud del tallo (LT)	16,264 ***	23,292 ***	3,156 ***
Longitud de la raíz (LR)	14,434 ***	6,001 ***	2,463 **
Altura de la planta (AP)	0,272 NS	0,719 NS	0,370 NS
Diámetro del tallo (DT)	19,818 ***	96,141 ***	7,923 ***
Peso fresco de las hojas (PFH)	44,786 ***	67,806 ***	3,413 ***
Peso fresco del tallo (PFT)	25,350 ***	101,501 ***	3,771 ***
Peso fresco de la raíz (PFR)	13,832 ***	80,117 ***	3,771 ***
Peso fresco total (PFTT)	1,086 NS	0,687 NS	1,550 NS

Grado de significancia: \*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ ; NS, No significativo.

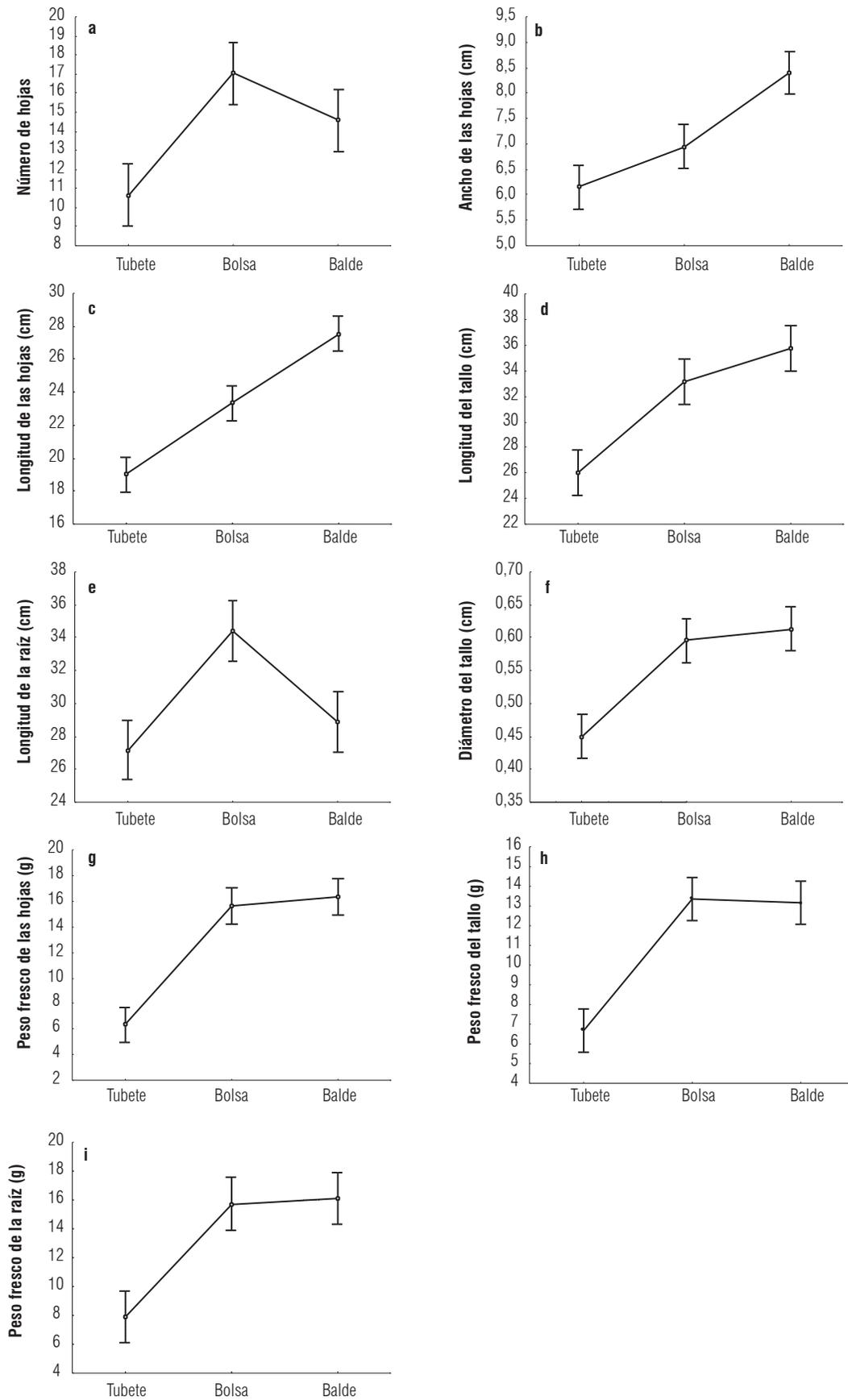


Figura 1. Crecimiento de plántulas de cacao en tres diferentes contenedores, tubete (0,4 L), bolsa (1,6 L), balde (3,0 L).

vegetativas (caracteres evaluados) y por ende los patrones de crecimiento de los clones de cacao evaluados (Tabla 1). Los resultados son consistentes con los obtenidos en estudios similares donde se evaluó la limitación del volumen del suelo como generador de restricción radicular y alterador del crecimiento en plantas de *Acacia saligna* y *Eucalyptus viminalis* (Al-Zalzaleh, 2009), *Coffea arabica* (Ronchi *et al.*, 2006) y otros árboles de cosecha tropicales (DaMatta, 2003) al crecer en pequeños contenedores que limitan el crecimiento de la raíz. Dicho patrón se fundamentaría en el hecho de que la raíz representa el principal sumidero metabólico de fotoasimilados cuando deja de depender de la nutrición a través de las reservas de la semilla, y al limitarse su crecimiento se reduce su fortaleza como sumidero, generando un desequilibrio en la razón fuente/sumidero (Barrett y Gifford, 1995) lo cual puede generar una reducción en el crecimiento del vástago, afectando negativamente la tasa de asimilación neta (Paul y Pellny, 2003).

Cuando las raíces son confinadas en un recipiente que restringe su crecimiento, incrementan la competencia por los recursos esenciales. Con el incremento en la biomasa de las raíces y el decrecimiento en el espacio de enraizamiento se genera competencia por el oxígeno disponible (Peterson *et al.*, 1991), y reducción en el espacio del poro (NeSmith y Duval, 1998). Por lo tanto, dicha limitación en espacio de enraizamiento, habría generado la restricción en el crecimiento radicular "LR" para el tratamiento de tubete, situación que habría alterado y limitado el incremento de los caracteres NH, AH, LH, LT, DT, PFH, PFT, y PFR en las plantas de cacao.

Los caracteres NH, LH y AH se redujeron en el tratamiento de tubete; el efecto del tamaño del contenedor y la restricción del crecimiento de la raíz y de la hoja ha sido documentado en plantas de soja (*Glycine max*) (Krizek *et al.*, 1985), tomate (*Solanum lycopersicum*) (Weston y Zandstra, 1986), y en salvia (*Salvia splendens*) (Van Iersel, 1997). En todos los casos, con el decrecimiento del volumen de la raíz, se produjo menor área foliar por planta. La reducción en el área foliar ocurrió debido a la reducción en el tamaño y número de hojas por planta (NeSmith y Duval, 1998). Consecuentemente, la restricción en el NH, LH y AH en tubete, en simultaneidad fue acompañada por un pobre incremento en PFH.

Ouma (2006) reportó para plantas de limón (*Citrus limon*), incremento en el número de hojas, altura de la planta, altura del dosel, diámetro del tallo, el peso seco de las raíces y tallos, con el aumento del volumen de los contenedores, y viceversa para pequeños volúmenes. Experimentos en plantas de mango (*Mangifera indica*) mostraron un patrón similar para contenedores de mayor tamaño (3,7 L) con el incremento adicional de la relación raíz-vástago (Ouma,

2007). En general, los resultados de los diferentes trabajos consultados, indican que las plantas que crecen en pequeños recipientes experimentan restricción en el crecimiento de las raíces, y por consiguiente se reduce su dosel (Hanson *et al.*, 1987) y en el crecimiento de la planta expresado en la longitud del vástago, el área foliar, peso fresco y seco de la raíz, tallo, hojas y frutos (Vizzoto *et al.*, 1993), resultados que hallamos congruentes con la restricción encontrada en plántulas que crecieron en tubetes en relación con la bolsa y el balde donde la restricción fue mucho menor.

Cuando las plantas de cultivo crecen en recipientes, las características de estos pueden afectar su sistema radicular (Riedacker *et al.*, 1982). Di Benedetto *et al.* (2006), sugirieron que la disminución evaluada en el crecimiento del vástago de los trasplantes de maíz (*Zea mays*) estaría relacionado con el tamaño del recipiente en el cual previamente se habría experimentado estrés radicular. La calidad de la planta puede ser "moldeada" por el manejo de cultivo en vivero, siendo la fertilización, el envase y el sustrato los elementos de cultivo que más la condicionan (Villar-Salvador, 2003). Luego, lograr eficiencia en el cultivo de cacao en recipientes, la selección del tamaño de este debe ser evaluado a detalle, debido a que las condiciones de propagación en estos repercuten en el desempeño y productividad de las plantas una vez son trasplantadas a campo.

**Efecto de la edad de permanencia en el contenedor** – Los caracteres NH, AH, LT, DT, PFH, PFT y PFR se incrementaron significativamente con el desarrollo ontogénico de las plantas de cacao, siendo significativo en ellos el efecto de los muestreos (Figura 2). La LR reportó un incremento gradual en magnitud entre los muestreos 1-3, y la limitación y detención del incremento entre los muestreos 3-7 (Figura 2d). Se evaluó como patrón general un incremento en magnitud con la edad del muestreo y con un mayor tamaño del contenedor, sin embargo, específicamente, el NH incrementó su magnitud y presentó magnitudes muy similares durante los primeros cuatro muestreos para los 3 tratamientos, con una leve menor expresión al tratamiento de tubetes; posteriormente (muestreo 5 – 7) incrementó su magnitud al tratamiento de bolsa, tratamiento en el cual se evaluó la mayor magnitud en el séptimo muestreo (Figura 3a). El carácter AH, presentó un patrón similar al reportado para el NH, excepto en que durante los muestreos quinto y sexto, se incrementó la magnitud en el tratamiento de balde, y se igualó la magnitud expresada para los tratamientos tubete y bolsa, magnitudes que se vieron limitadas y mantenidas en el muestreo séptimo (Figura 3b). El incremento en la LR fue significativamente mayor en los tratamientos de bolsa y balde respecto a la limitación evaluada en tubetes, específicamente los resultados de la interacción tratamiento x muestreo nos permitió hallar en

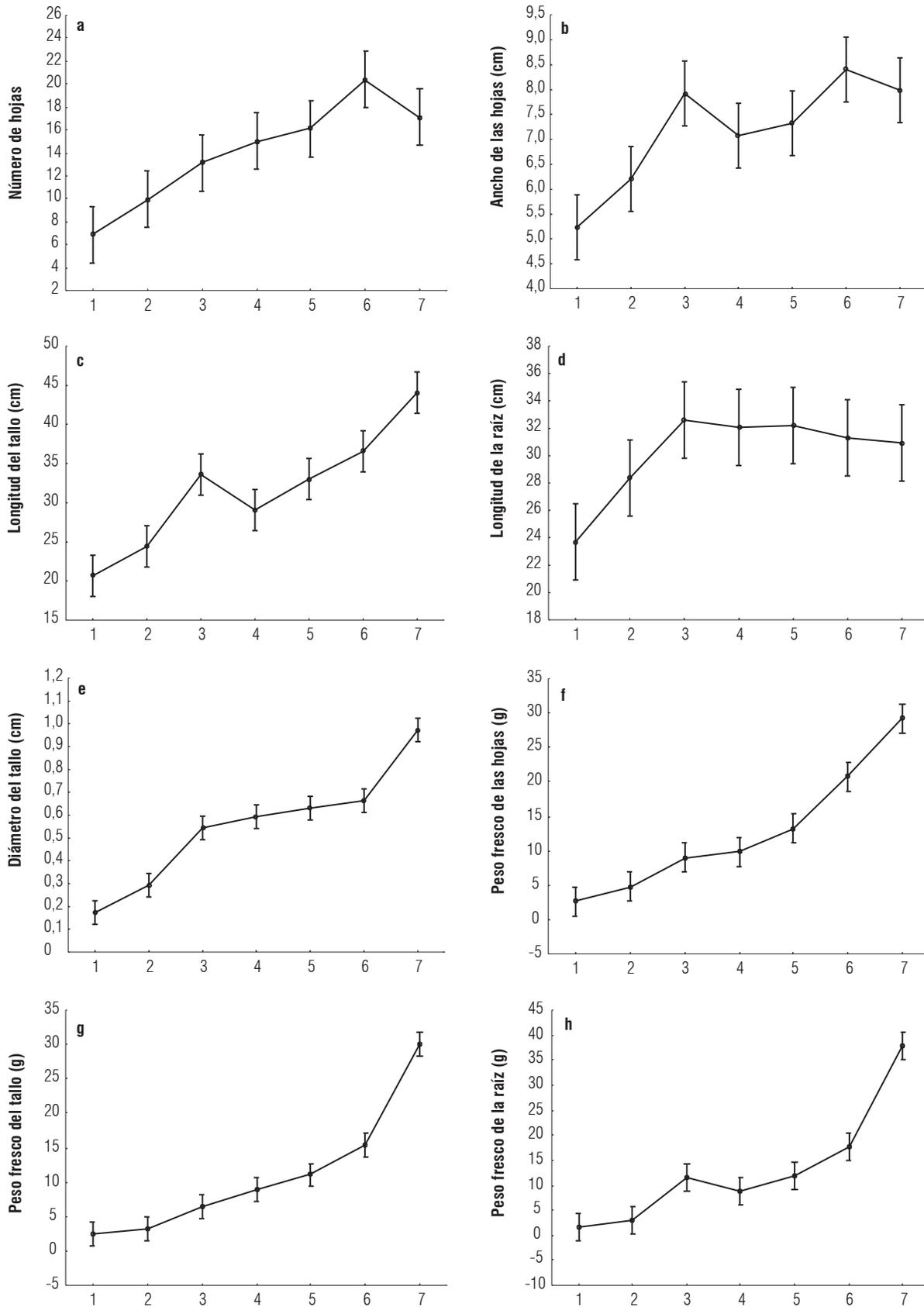
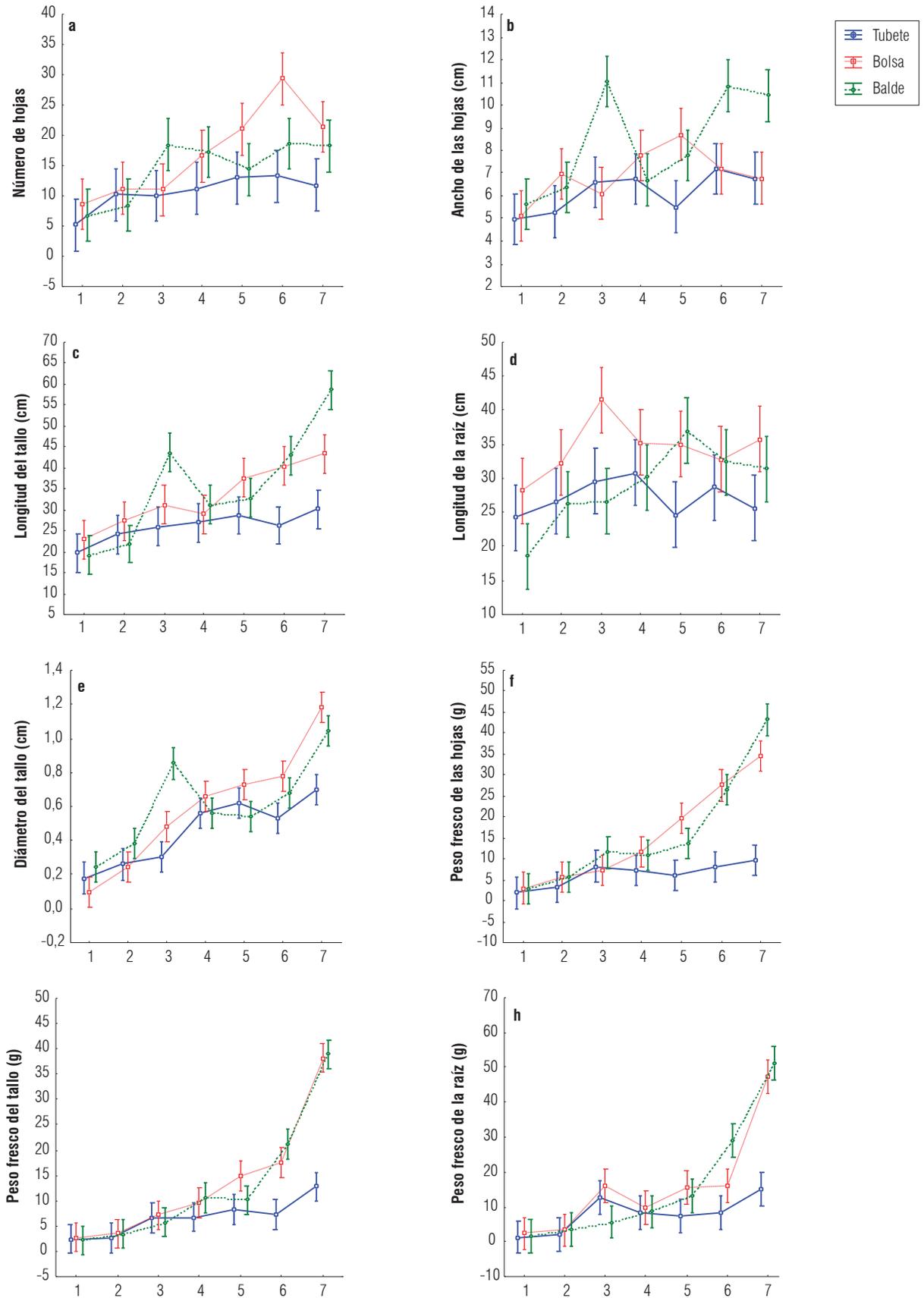


Figura 2. Efecto de los muestreos (1-7) en plántulas de cacao en tres diferentes contenedores, tubete (0,4 L), bolsa (1,6 L), balde (3,0 L).



**Figura 3.** Evaluación de la Interacción tratamiento x muestreo en plántulas de cacao en tres diferentes contenedores, tubete (0,4 L), bolsa (1,6 L), balde (3,0 L).

los tratamientos de tubete y bolsa, incremento en magnitud de la LR entre los muestreos 1-3, y para el tratamiento de balde la LR se incrementó progresivamente entre los muestreos 1-5, posterior a dichas fechas y para cada tratamiento, se limitó el incremento en longitud de la raíz (Figura 3d). Los caracteres PFH, PFT y PFR, presentaron un patrón de incremento, con trayectorias bastante similares para los tres tratamientos durante los primeros cuatro muestreos, a partir del quinto muestreo y hasta el séptimo se evidenció una importante y significativa diferencia entre las magnitudes, limitadas y apenas evidenciada para el tratamiento de tubetes, y de incremento notorio frente a los tratamientos de bolsa y balde, tratamientos entre los cuales no se hallaron diferencias significativas (Figura 3f, g, h). Los caracteres DT y LT exhibieron un patrón similar al anterior, excepto en que para el DT el incremento en magnitud evaluado al tratamiento de tubetes durante los muestreos quinto al séptimo fueron mayores que los evaluados en los caracteres PFH, PFT y PFR (Figura 3e), y que para la LT desarrolló su mayor magnitud para el muestreo séptimo al tratamiento de balde (Figura 3c).

El cultivo de plantas forestales en recipientes o materas va a condicionar su tiempo de permanencia en vivero. El principio general es que la planta debe estar en el vivero el mínimo tiempo necesario para lograr una calidad adecuada a su uso posterior (Nicolás-Paragón *et al.*, 2004), debido a que como producto de la restricción en el espacio, se pueden generar deformaciones en las raíces y un desequilibrio entre el crecimiento de la parte aérea/parte radical. Las malformaciones de la raíz originadas en la producción de plantas *Pinus nigra* en contenedor provocan inestabilidad mecánica y la mortalidad de plantas cuando las plantas de semillero son trasplantadas (Zahreddine *et al.*, 2004). Kratky *et al.* (1982) determinaron que no hubo diferencias en rendimientos cuando las plántulas de coles chinas permanecieron en contenedores durante tres semanas. Después de ese tiempo, en contenedores de diámetro inferior a 7,5 cm, el crecimiento se detuvo. Las plantas de cacao restringieron el crecimiento de la LR a una tasa muy baja en el tratamiento de tubete, igualmente limitó y detuvo su crecimiento en momentos específicos a cada tratamiento, en tubetes (muestreos 4 – 7), en bolsa (muestreos 3 – 7), y para balde (muestreos 5 – 7), sin embargo, el PFR se incrementó sostenida y gradualmente a lo largo de la ontogenia de las plantas de cacao (muestreos 1 – 7), con un pobre incremento en el tratamiento de tubete y un mayor y contrastante incremento para bolsa y balde. Por lo tanto, con la edad de las plantas, el tamaño y espacio de los tres diferentes contenedores limitó el crecimiento en LR, debido a que las raíces alcanzaron densamente las paredes de los contenedores como se pudo evaluar visualmente. Sin embargo, como respuesta funcional a la restricción, la raíz alteró su patrón de crecimiento, cesando su

ganancia en longitud e incrementando y redistribuyendo alternativamente su biomasa en ganancia en grosor, respuesta que corresponde con Crane *et al.* (2005) quienes consideran que el cacao en vivero puede ser cultivado en contenedores de 1 – 3 galones (4 – 11 L), y debe evitarse el uso de contenedores pequeños para plantas grandes, debido a que esto puede alterar el normal crecimiento de la raíz, ya que las raíces alcanzarían los bordes del recipiente creciendo en círculo, razón por la cual la planta no podría crecer adecuadamente posteriormente en campo.

Los caracteres PFH, PFT y PFR incrementaron gradual y continuamente su magnitud a través de los muestreos, con leve incremento para el tratamiento de tubetes y con notoria mayor magnitud para los tratamientos de bolsa y balde. Por lo tanto, dicha ganancia en peso fresco ocurrió a pesar e independiente a las limitaciones evaluadas para los caracteres NH, AH, LT, LR y DT con la edad del muestreo y los tratamientos, incremento en peso fresco ocurrida a una tasa propia a cada tratamiento y edad del muestreo.

## CONCLUSIONES

El tratamiento de tubete fue generador de restricción radicular, lo cual afectó y limitó significativamente el crecimiento de los diferentes órganos vegetativos del cacao.

El mejor desempeño en crecimiento se presentó para los tratamientos de bolsa y balde, recipientes que deberán ser sujeto de posteriores pruebas que determinen su utilidad y selección como estándar de propagación.

En vivero las plantas de cacao pueden ser cultivadas en diferentes tipos y tamaños de recipientes dependiendo del tiempo que vayan a permanecer en este. Si se mantienen por menos de tres meses para ser trasplantadas se puede utilizar el tubete por economía. Si se deja por espacio de 6 meses se emplea la bolsa.

El tiempo o edad de permanencia de las plantas en los contenedores fue generador de restricción en el crecimiento de las plantas de cacao, específicamente para cada tratamiento y edades. Por lo tanto, la geometría, forma, tamaño, altura y volumen de los contenedores, así como el tiempo de permanencia en los mismos, debe ser sometido a nuevas evaluaciones, con el fin de estandarizar el recipiente para las plantas de cacao, y poder reducir factores de restricción y obtener plantas vigorosas con mayor desempeño y productividad posterior a su establecimiento en campo.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander y a Corpoica por la financiación y logística en el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Zalzaleh H. 2009. Root and shoot growth of *Acacia saligna* and *Eucalyptus viminalis* as influenced by container geometry. *Eur J Sci Res* 25:567-573.
- Almeida AF, Valle RR. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Braz J Plant Physiol* 19(4):425-448.
- Alverson WS, Whitlock BA, Nyffeler R, Bayer C, Baum DA. 1999. Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data. *Am J Bot* 86:1474-1486.
- Arizaleta M, Pire R. 2008. Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. *Agrociencia* 42:47-55.
- Barrett DJ, Gifford RM. 1995. Acclimation of photosynthesis and growth by cotton to elevated CO<sub>2</sub>: interactions with severe phosphate deficiency and restricted rooting volume. *Aust J Plant Physiol* 22:955-963.
- Birchler T, Rowse RW, Royo A, Pardos M. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Invest Agr Sist Recur For* 7(1-2):109-121.
- Crane JH, Balerdi CF, Joyner G. 2005. Cocoa (chocolate bean) growing in the Florida Home Landscape. Gainesville, FL: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. pp. 1-8.
- Cuatrecasas J. 1964. Cacao and its allies a taxonomic revision of genus *Theobroma*. Washington DF: Bulletin of the United States National Museum, Smithsonian Institution.
- DaMatta FM. 2003. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. En: Hemantaranjan A editor. *Advances in plant physiology*. Vol 5. Jodhpur, India: Scientific Publisher. pp. 227-265.
- Di Benedetto A, Molinari J, Rattin J. 2006. The effect of transplant in sweet maize (*Zea mays* L.) II. Container root restriction. *Int J Agr Res* 1:555-563.
- Hanson PJ, Dixon RK, Dickson RE. 1987. Effect of container size and shape on the growth of 'northern red' oak seedling. *HortScience* 22:1293-1295.
- [ICCO] International Cocoa Organization. 2007. Annual report 2007/2008. Londres: ICCO. 43 p.
- Kalvatchev Z, Garzaro D, Guerra-Cedezo F. 1998. *Theobroma cacao* L.: Un nuevo enfoque para nutrición y salud. *Agroalim* 6:23-25.
- Katan J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests. *Annu Rev Phytopathol* 19:211-36.
- Krizek DT, Carmi A, Mirecki RM, Snyder FW, Bruce JA. 1985. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *J Exp Bot* 36:25-38.
- Kratky BA, Wang JK, Kubojiri K. 1982. Effects of container size, transplant age, and plant spacing on Chinese cabbage. *J Amer Soc Hort Sci* 107:345-347.
- Lachenaud Ph, Paulin D, Ducamp M, Thevenin JM. 2007. Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. *Sci Hortic* 113:313-321.
- Marsh DB, Paul KB. 1988. Influence of container type and cell size on cabbage transplant development and field performance. *HortScience* 23:310-311.
- McConnaughay KDM, Bazzaz FA. 1991. Is physical space a soil resource? *Ecology* 72:94-103.
- McConnaughay KDM, Bazzaz FA. 1992. The occupation and fragmentation of space: consequences of neighbouring roots. *Funct Ecol* 6:704-710.
- Miyaji K-I; da Silva WS, Alvim P de T. 1997. Longevity of leaves of a tropical tree, *Theobroma cacao*, grown under shading, in relation to position within the canopy and time of emergence. *New Phytol* 135(3):445-454.
- Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A, Lanaud C. 2002. Cacao domestication. I. The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89:380-386.
- NeSmith D, Duval JR. 1998. The effect of container size. *HortTechnology* 8(4):1-4.
- Nicolás-Peragón JL, Villar-Salvador P, Peñuelas-Rubira JL. 2004. Efecto de la edad de la planta y el tipo de preparación del suelo en la supervivencia y crecimiento de "*Quercus faginea*" Lam. cultivado en contenedor. *Cuad Soc Esp Cien For* 17:205-209.
- Ouma G. 2006. Growth responses of 'rough lemon' (*Citrus limon* L.) rootstock seedlings to different container sizes and nitrogen levels. *Agricultura Tropica ET Subtropica* 39:183-188.
- Ouma G. 2007. Effect of different container sizes and irrigation frequency on the morphological and physiological characteristics of mango (*Mangifera indica*) rootstock seedlings. *Int J Bot* 3:260-268.
- Paul MJ, Pellny TK. 2003. Carbon metabolite feedback regulation of leaf photosynthesis and development. *J Exp Bot* 54:539-547.
- Persson HD. 1983. The distribution and productivity of fine roots in boreal forest. *Plant and Soil* 71:87-101.
- Peterson TA, Reinscl MD, Krizek DT. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv 'Better Bush') plant response to root restriction. Root respiration and ethylene generation. *J Exp Bot* 42:1241-1249.
- Riedacker A, Deixheimer J, Tavakol R, Alaoui H. 1982. Modifications expérimentales de la morphogénèse et des géotropismes dans le système racinaire de jeunes chênes. *Can J Bot* 60:765-778.
- Ronchi CP, DaMatta FM, Batista KD, Moraes GA, Loureiro ME, Ducatti C. 2006. Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea Arabica* in response to restricted root volume. *Funct Plant Biol* 33:1013-1023.
- Van Iersel M. 1997. Root restriction effects on growth and development of salvia (*Salvia splendens*). *HortScience* 32:1186-1190.
- Vavrina CS. 2002. An introduction to the production of containerized vegetable transplants. Gainesville (FL): Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida; Documento No. HS849.
- Villar-Salvador P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En: Rey-Benayas JM, Espigares-Pinilla T, Nicolau-Ibarra JM, editores. Restauración de ecosistemas mediterráneos. Alcalá de Henares, España: Universidad de Alcalá; Asociación Española de Ecología Terrestre. pp. 65-86.
- Vizzotto G, Orietta L, Costa G. 1993. Root restriction and photosynthetic response in a peach rootstock. *HortScience* 28(5):556.
- Weston LA, Zandstra BH. 1986. Effect of root container size and location of production on growth and yield of tomato transplants. *J Amer Soc Hort Sci* 111:498-501.
- Zahreddine HG, Struve DK, Quigley M. 2004. Growing *Pinus nigra* seedlings in spinout™-treated containers reduces root malformation and increases growth after transplanting. *J Environ Hortic* 22(4):176-182.
- Zar JH. 1999. Biostatistical analysis. 4th ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice-Hall. 662 p.