

COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO DE PLANTULAS DE *Theobroma Cacao* (MALVACEAE), UTILIZADAS COMO PATRONES, SEMBRADAS EN DIFERENTES VOLÚMENES DE SUSTRATO

MAURICIO GUTIERREZ RUIZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGIA
BUCARAMANGA
2010**

COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO DE PLANTULAS DE *Theobroma Cacao* (MALVACEAE), UTILIZADAS COMO PATRONES, SEMBRADAS EN DIFERENTES VOLÚMENES DE SUSTRATO

MAURICIO GUTIERREZ RUIZ

Trabajo de grado para optar de titulo Biólogo

DIRECTOR

RAUL GÓMEZ SANTOS

CODIRECTOR

NELSON FACUNDO RODRÍGUEZ LÓPEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE BIOLOGIA

BUCARAMANGA

2010

AGRADECIMIENTOS

Ante todo quiero dar gracias a Dios por permitirme realizar este proyecto, a mi mamá, mi papá y toda mi familia por la paciencia que me han tenido. A mi amigo incondicional, y gran colaborador JAVIER VILLAMIZAR, a mi director de tesis, RAUL GOMEZ SANTOS, a la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER y a CORPOICA por brindarme su apoyo y logística para el desarrollo de nuestro trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MATERIALES Y MÉTODOS	4
1.1 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	4
1.2 PARÁMETROS EVALUADOS	5
1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	5
2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
2.1 TAMAÑO DEL CONTENEDOR Y RESTRICCIÓN RADICULAR	7
2.2 EFECTO DE LA EDAD DE PERMANENCIA EN EL CONTENEDOR	10
CONCLUSIONES	13
BIBLIOGRÁFICAS	14
ANEXO	19

RESUMEN

TITULO: COMPORTAMIENTO DEL CRECIMIENTO DE PLANTULAS DE *Theobroma Cacao* (MALVACEAE), UTILIZADAS COMO PATRONES, SEMBRADAS EN DIFERENTES VOLÚMENES DE SUSTRATO*

AUTOR: Mauricio Gutiérrez Ruiz**

PALABRAS CLAVES: *Theobroma cacao*, restricción radicular, contenedor, plántulas, productividad.

La creciente demanda del cacao (*Theobroma cacao* L.) requiere la producción de plantas de alta calidad. El cultivo de plantas en contenedor condiciona su duración en vivero, su crecimiento y productividad. Evaluamos el efecto del espacio de crecimiento radicular y volumen de sustrato sobre el crecimiento de plantas de cacao, empleando diferentes contenedores plásticos: Tubete (0,4 L), Bolsa (1.6 L) y Balde (3 L).

La investigación fue desarrollada con 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. Nuestra hipótesis planteó que el crecimiento de la raíz y las hojas en plantas de cacao, sería afectado por la alteración del volumen del sustrato.

Las plantas de cacao alteraron significativamente ($P < 0,05$) su crecimiento con la reducción del tamaño del contenedor. Se validó la hipótesis experimental al evaluar restricción en el crecimiento de la raíz y de estructuras aéreas en el tratamiento de tubete. Con el paso del tiempo y específico a cada tratamiento, el tamaño de los contenedores evidenció restricción en el crecimiento, por lo tanto, para obtener plantas vigorosas, previo a su trasplante se debe estandarizar el tamaño del contenedor y el tiempo de permanencia de las plantas en los mismos. Las plantas de cacao presentaron un mayor y positivo crecimiento en el tratamiento de bolsa y balde.

* Trabajo de Grado

**Facultad de Ciencias, Escuela de Biología, Director: Raúl Gómez Santos

ABSTRACT

TITTLE: GROWTH BEHAVIOR in PLANTS *Theobroma Cacao* (MALVACEAE), USED AS BOSSES, GROWTH IN DIFFERENT VOLUMES OF SUBSTRATE *

AUTHOR: Mauricio Gutiérrez Ruiz**

KEYWORDS: *Theobroma cacao*, root restriction, containers, nursery, seedlings, yield.

DESCRIPTION

The increasing demand of cocoa (*Theobroma cacao* L.) plant production requires high quality. The crop of plants in the container will determine the duration in greenhouse, your growth and productivity. We evaluated the effect of space of rotting growth and volume of the substrate on the growth of cocoa plants, using different plastic containers: tube (0.4 L), bag (1.6 L) and bucket (3 L).

The research was developed with a completely randomized design. The traits evaluated were: number of leaves, leaf width, leaf length, stems length, root length, plant height, stem diameter fresh weight of leaves, fresh stem weight, fresh root weight and total fresh weight. Our hypothesis proposed that the growth of root and leaves of cocoa plants would be affected by altering the volume of the substrate. The cocoa plants altered significantly ($P < 0.05$) their growth by reducing the size of the container.

The experimental hypothesis was proved by being evaluated the restriction of growth of root and aerial structures in the tube treatment. According to the time and specific to each treatment, the container size generated growth restriction, therefore, to obtain vigorous plants, before its transplantation, the size of the container and the residence time of plants should be standardize. The cocoa plants presented a higher and positive growth in the bag and bucket treatments.

* Research Project

* Faculty of Sciences, School of Biology, Director: Raúl Gómez Santos

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta perenne tropical, nativa del sotobosque de los bosques húmedos de Suramérica (Lachenaud *et al.*, 2007, Motamayor *et al.*, 2002). 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 una de las plantas de cultivo perenne mas 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 a la fabricación de chocolate, así como por su potencial en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica (Kalvatchev *et al.*, 1998).

El potencial que presenta un suelo para las plantas de cosecha está principalmente determinado por el ambiente que dicho suelo pueda suministrar para mantener el crecimiento de la raíz (Persson, 1983). Las plantas ocupan gran cantidad de espacio físico para poder captar la mayor cantidad de recursos (Mc Connaughay 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 de forrajeo puede deprimirse, generando una reducción en la capacidad de adquisición de recursos, limitando el crecimiento y la productividad (Mc Connaughay 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 la industria de productos agrícolas, y a la necesidad de mayor eficiencia en las técnicas de propagación, el cultivo de plántulas en invernaderos empleando contenedores se ha convertido en algo muy común. Es así que por ejemplo, la utilización de bolsas - contenedores 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, debido a que el viverista puede modificar el ambiente en el que se desarrolla la plántula mediante la aplicación de fertilizante y el uso de contenedores de diferentes tamaños, lo cual influye en la morfología y fisiología de la planta (Birchler *et al.*, 1998).

La definición del tamaño del contenedor es muy importante tanto para los productores como para los consumidores de plantines (NeSmith y Duval, 1998). Una tendencia entre muchos productores comerciales de plantines va hacia un mayor número celdas por bandeja (contenedores más pequeños), lo cual incrementa el número de plantas producidas, y reduce la necesidad de mas espacio para la producción de plantines (Vavrina, 1995). 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 contenedor (Marsh y Paul, 1988). En los contenedores 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 los costos de producción aumentan (Arizaleta y Pire, 2008). Sin embargo, aunque el uso de pequeños contenedores puede mejorar la eficiencia de la producción de plantines, no está claro como las plantas que crecen con pequeños volúmenes de raíz pueden comportarse bajo las condiciones de campo posterior a su trasplante. Uno de los mayores efectos del decrecimiento del tamaño del contenedor evaluado bajo las condiciones experimentadas por los plantines es que esto incrementa la restricción en las de la raíz de los plantines (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 de cosecha como *Coffea arabica* (Ronchi *et al.*, 2006). Muchos estudios sobre la fisiología de los cultivos se han realizado con plantas cultivadas en contenedores pequeños los cuales limitan el crecimiento de la raíz (Da Matta, 2003).

Por tanto, basados en la necesidad de conocer los patrones de respuesta de plantas de cacao propagadas en contenedores de propagación, los objetivos de nuestro estudio fueron:

- Evaluar el efecto del espacio y volumen del sustrato de propagación en el crecimiento de plantulas de cacao (*Theobroma cacao*), evaluando posibles evidencias de restricción radicular y alteración de caracteres de crecimiento, empleando tres diferentes contenedores: Tubete (0,4 L), Bolsa (1,6 L) y Balde (3 L).
- Establecer comparaciones de los patrones de crecimiento de diferentes caracteres vegetativos de plantulas de *Theobroma cacao* sembrado en tres diferentes volúmenes de sustrato.

La hipótesis del estudio es que la alteración del volumen del sustrato evaluado en el tamaño de los contenedores actuaría como generador de alteración del crecimiento de la raíz y de las hojas, modificando el crecimiento de las plantas de cacao.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento fue realizado en la Estación Experimental “La Suiza”, suscrito a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria “Corpoica”, ubicado a 10 km al norte del municipio de Ríonegro, en el departamento de Santander, Colombia (7° 22′ 11.14" N, 73° 10′ 37.92" O) a una altura de 540 m.s.n.m con una temperatura media anual de 28 °C y una humedad relativa de 85%. Se estableció el experimento a partir de la preparación del sustrato en proporción 3:1:1 (suelo, arena y lombricompost), sustrato que fue sometido al método de solarización para lograr la eliminación de patógenos a partir de su exposición a altas temperaturas (Katan, 1981). Se seleccionaron y obtuvieron 300 semillas de *Theobroma cacao* (*T. cacao*), a partir de la recolección de mazorcas maduras de la variedad IMC 67 en los huertos de la estación experimental “La Suiza”. Las 300 semillas *T. cacao* previamente seleccionadas, fueron distribuidas bajo diseño experimental completamente al azar en tres tratamientos, correspondientes a tres tipos contenedores de propagación con diferente tamaño y capacidad de almacenamiento de sustrato: Tratamiento 1: Cien (100) Tubetes cónicos: pequeño en tamaño (25 cm de altura x 8 cm de diámetro), con una capacidad de 1 kg (0,4 L); Tratamiento 2: Cien (100) Bolsas plásticas: tamaño mediano (28 cm de altura x 9 cm diámetro), con capacidad de 3 Kg (1.6 L); Tratamiento 3: Cien (100) Baldes plásticos: tamaño grande (28 cm de altura x 28 cm diámetro), con capacidad de 6 kg de sustrato (3 L). Las plántulas patrón fueron monitoreadas a diario, y mantenidas en un vivero bajo polisombra del 60% de radiación, irrigación diaria automática por aspersión durante dos horas posterior a las 6 pm. Se evaluó una temperatura ambiente promedio máxima y mínima: 30/14±1°C, mediante el uso de un termómetro de máximas y mínimas (Brixco).

1.2 PARÁMETROS EVALUADOS

Con el propósito de probar nuestra hipótesis, se realizaron muestreos cada 30 días, durante siete meses consecutivos, iniciados a partir de los 30 días después de iniciada la germinación de las semillas, y en el cual fueron muestreadas cinco plantas por tratamiento, evaluando las siguientes variables o caracteres de crecimiento: número de hojas (NH), “estimado mediante conteo manual por planta”; ancho de las hojas (cm) (AH), “medido con cinta métrica en la zona media de las hojas”; longitud de las hojas (cm) (LH), “medido con cinta métrica desde la base del peciolo hasta la punta del ápice de la hoja”; longitud del tallo (cm) (LT), “medido desde la base del tallo hasta su ápice”; longitud de la raíz (cm) (LR), “medida desde la base de la raíz hasta la punta de la raíz principal”; altura de la planta (cm) (AP): “medida desde la punta de la raíz hasta el ápice terminal del vástago”; diámetro del tallo (cm) (DT), “medida con calibrador entre el cotiledón y la base del tallo”; peso fresco de las hojas (g) (PFH), peso fresco del tallo (g) (PFT), peso fresco de la raíz (g) (PFR), peso fresco total (g) (PFTT), fueron determinados mediante balanza analítica.

1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó ANOVA factorial, evaluando como variables dependientes a los 11 diferentes caracteres de crecimiento seleccionados, y como fuentes de variación u factores fijos, la edad ontogenética (los siete muestreos) y los tres tratamientos (T₁: Tubete; T₂: Bolsa; T₃: Balde), así, como la interacción tratamiento por muestreo. La ANOVA de tipo factorial esta basada en el modelo lineal univariado, y fue seleccionada ya que permitió analizar el efecto de los tratamientos, muestreos, así, como de todas las posibles interacciones, permitiéndonos evaluar el efecto de los factores de variación sobre cada una de las variables bajo estudio. Posterior a la ANOVA, fue realizada la prueba de comparaciones a posteriori, de

Tukey, para aquellas variables con diferencias significativas en el ANOVA ($p < 0,05$), con el fin de discriminar entre las diferencias entre tratamientos, muestreos, y su interacción.

Se realizaron pruebas a priori de normalidad y homogeneidad de varianzas, según las pruebas de Kolmogorov Smirnof 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): $\sqrt{X+1}$, ancho 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): $\log_{10}(X)$, altura de la planta (AP): $\text{COS}(X)$, $1/(X+1)$, diámetro del tallo (DT): $\sqrt{(X)+1/2}$, peso fresco de las hojas (PFH): $\text{LN}(X)$, peso fresco del tallo (PFT): $\log_{10}(X)$, peso fresco de la raíz (PFR): $\text{LN}(X)$, peso fresco total (PFTT): $\text{COS}(X)$. Fue empleado el software estadístico SAS (System Analyze Statistics).

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 TAMAÑO DEL CONTENEDOR 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 evaluó 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 del ANOVA y del test de Tukey, se encontró la menor magnitud de todos los caracteres en el tratamiento de tubetes (Figura 1). Se evaluó un incremento en la magnitud de los caracteres con el incremento del tamaño del contenedor (Figura 1), sin embargo, la mayor magnitud de los caracteres NH, LT, DT, PFH, PFT y PFR, se evaluó con un mayor tamaño del contenedor “bolsa y balde”, tratamientos entre los cuales 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 ($P < 0,05$) el crecimiento y desarrollo de estructuras vegetativas (caracteres evaluados) y por ende los patrones de crecimiento de los clones de cacao (Tabla 1); nuestros resultados son consistentes con resultados similares en la evaluación de la limitación del volumen del suelo como generador de restricción radicular y alterador del crecimiento en plantas de *Acacia saligna* y *Eucalyptu 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, y al limitarse su crecimiento se reduce su fortaleza como sumidero, generando un desequilibrio en la razón fuente:sumidero (Barret y Gifford, 1995) lo cual puede generar una reducción en el crecimiento del vástago, afectando negativamente la tasa de asimilación neta (A) (Paul y Pellny, 2003).

Cuando las raíces son confinadas en un contenedor 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* L.) (Krizek *et al.*, 1985), tomate (*Lycopersicon esculentum* L) (Weston y Zandstra, 1986), y en salvia (*Salvia splendens* F) (van Iersel, 1997). En todos los casos, con el decrecimiento del

volumen de la raíz, se produjo menor área foliar. 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 G (2006) reportó para plantas de Limón (*Citrus limon* L.), incremento en el número de hojas, altura de plantas, alturas de 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 G, 2007). Por el contrario, en general las plantas que crecen en pequeños contenedores experimentan restricción de las raíces, lo cual reduce su dosel (Hanson *et al.*, 1987), el crecimiento de la planta expresado en la longitud del vástago, el área foliar y la ganancia en peso fresco y seco de la raíz, tallo, hojas y frutos (Vizzotto *et al.*, 1993). Respuestas que hallamos congruentes con la restricción evaluada para el tratamiento de tubete en el NH, AH, LH, LT, LR, DT, PFH, PFT, PFR; y significativo ($P < 0,05$) incremento en magnitud, para los tratamientos de bolsa y balde.

Cuando las plantas de cultivo crecen en contenedores, las características del contenedor 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* L.) estaría relacionado al tamaño del contenedor en el cual previamente se habría experimentado estrés radicular. La calidad de la planta puede ser “moldeada” por el modo de cultivo en vivero, siendo la fertilización, el contenedor y el sustrato los elementos de cultivo que más la condicionan (Villar – Salvador, 2003). Luego, lograr eficiencia en el cultivo de cacao en contenedor, la selección del tamaño del contenedor debe ser evaluado a detalle, debido a que las condiciones de propagación en contenedor

repercuten en el desempeño y productividad de las plantas una vez son trasplantadas a campo.

2.2 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 2a, b, c, e, f, g, h). 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 primero cuatro muestreos para los tres 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 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 contenedor 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 los plantines 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 y Balerd (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 por 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

Consideramos que en invernadero plantas de cacao pueden ser cultivadas en contenedores de 0,4 – 1,6 L, con un período máximo de tres meses, y para recipientes de 3 L, un máximo de cinco meses, debido a que posterior a dichas fechas la capacidad de los contenedores resultara restrictiva para el normal crecimiento de las raíces y sus concernientes consecuencias. Se puede concluir que con el incremento del tamaño del contenedor (0,4 – 3 L) en general se presenta un significativo incremento en el crecimiento evaluado en los caracteres vegetativos de las plantas de cacao con la excepción de los caracteres AP y PFTT. El mejor desempeño en crecimiento se evaluó para los tratamientos de bolsa y balde, contenedores que deberían ser sujeto de posteriores pruebas que determinen su utilidad y selección como estándar de propagación. 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 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 estandarizado para las plantas de cacao, para poder reducir factores de restricción y obtener plantas vigorosas con mayor desempeño y productividad posterior a su establecimiento en campo.

BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ZALZALEH H. 2009. Root and Shoot Growth of *Acacia Saligna* and *Eucalyptus viminalis* as Influenced by Container Geometry. *European Journal of Scientific Research* 25:567-573.
- ALMEIDA A.F, Valle R.R. 2007. Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol* 19(4):425-448.
- ALVERSON W.S, Whitlock B.A, Nyffeler R, Bayer C, Baum D.A. 1999. Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data. *Am. J. Bot* 86:1474-1486.
- ARIZALETA M y 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 D.J. y Gifford R.M. 1995. Acclimation of photosynthesis and growth by cotton to elevated CO₂: interactions with severe phosphate deficiency and restricted rooting volume. *Australian Journal of Plant Physiology* 22:955-963.
- BIRCHLER T, Rowse R.W, Royo A, y Pardos M. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. *Inv. Agr. Sist. Recur. For* 7(1-2): 109-121.
- CRANE J.H, Balerdi C.F y Joyner G. 2005. Cocoa (Chocolate Bean) Growing in the Florida Home Landscape. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, p. 1-8.

- CUATRECASAS J. 1964. Cacao and its allies a taxonomic revision of genus *Theobroma*. Bulletin of the United States National Museum , Smithsonian Institution, Washington , USA .
- DAMATTA F.M. 2003. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In 'Advances in plant physiology. Vol. V'. (Ed, E Hemantaranjan) pp. 227-265. (Scientific Publisher: Jodhpur).
- Di Benetto A, Molinari J. y Rattin J. 2006. The effect of transplant in Sweet Maize (*Zea mays* L.) II. Container Root Restriction. International Journal of Agricultural Research 1:555-563.
- HANSON M.T, Dixon R.K, Dickson R.E. 1987. Effect of container size and shape on the growth of 'northern red' Oak seedling. HortScience 22:1293-1295.
- ICCO. 2007. Annual report. 43 p.
- KALVATCHEV Z, Garzaro D, y Guerra-Cedezo F. 1998. *Theobroma cacao* L.: Un nuevo enfoque para nutrición y salud. Agroalimentaria 6: 23-25.
- KATAN J. 1981. Solar heating (Solarization) of Soil for Contyrol of Soil Borne Pests- Ann. Review Phytopathology 19:211-36.
- KRIZEK D.T, Carmi A, Mirecki R.M, Snyder F.W, Bruce J.A. 1985. Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). J. Expt. Bot 36:25-38.
- KRATKY B.A, Wang J.K, Kubojiri K. 1982. Effects of container size, transplant age, and plant spacing on Chinese cabbage. J. Amer. Soc. Hort. Sci 107: 345-347.

- LACHENAUD P.h, Paulin D, Ducamp M, Thevenin J.M. 2007. Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. *Scientia Horticulturae* 113: 313-321.
- MARSH D.B, y Paul K.B. 1988. Influence of container type and cell size on cabbage transplant development and field performance. *HortScience* 23:310-311.
- McConnaughay K.D.M, Bazzaz F.A. 1991. Is physical space a soil resource?. *Ecology* 72: 94-103.
- McConnaughay K.D.M, Bazzaz F.A. 1992. The occupation and fragmentation of space: consequences of neighbouring roots. *Functional Ecology* 6: 704-710.
- Miyaji K; Da Silva W.S; Alvim P. 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 Phytologist* 135 (3): 445-454.
- Motamayor J.C, Risterucci A.M, Lopez P.A, Ortiz C.F, Moreno A, Lanaud C. 2002. Cacao domestication. I. The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89:380-386.
- NeSmith D, Duval J.R, 1998. The Effect Of Container Size. *HortTechnology* 8(4):1-4.
- Nicolás – Peragón J.L, Villar – Salvador P, Peñuelas – Rubira J.L. 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. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 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. *International Journal of Botany* 3:260-268.
- PAUL M.J, Pellny T.K. 2003. Carbon metabolite feedback regulation of leaf photosynthesis and development. *Journal of Experimental Botany* 54:539-547.
- Persson H.D. 1983. The distribution and productivity of fine roots in boreal forest. *Plant and Soil* 71:87-101.
- PETERSON T.A, Reinscl M.D, Krizek D.T. 1991. Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv 'Better Bush') plant response to root restriction. Root respiration and ethylene generation. *J. Expt. Bot* 42:1241-1249.
- RIEDACKER A., Deixheimer J., Tavakol R., Alaoui H. 1982. Modifications expérimentales de la morphogenèse et des géotropismes dans le système racinaire de jeunes chênes. *Can. J. Bot* 60:765-778.
- RONCHI C.P, DaMatta F.M, Batista K.D, Moraes G.A, Loureiro M.E, Ducatti C. 2006. Growth and photosynthetic down-regulation in *Coffea Arabica* in response to restricted root volume. *Functional Plant Biology* 33: 1013-1023.
- Van Iersel, M. 1997. Root restriction effects on growth and development of salvia (*Salvia splendens*). *HortScience* 32:1186-1190.

- Vavrina C.S. 1995. An introduction to the production of containerized vegetable transplants. Univ. of Florida, Gainesville, Coop. Ext. Serv., Bul. 302.
- VILLAR-Salvador P. 2003. Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. En: Rey-Benayas, J.M.; Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J.M. (Editores). Restauración de Ecosistemas Mediterráneos. Universidad de Alcalá / Asociación Española de Ecología Terrestre, p. 65-86.
- Vizzoto G. Orietta L, Costa G. 1993. Root restriction and photosynthetic response in a peach rootstock. HortScience 28: (5).
- Weston L.A, Zandstra B.H. 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 H.G, Struve D.K y Quigley M. 2004. Growing *Pinus nigra* Seedlings in Spinout™-Treated Containers Reduces Root Malformation and Increases Growth After Transplanting. J. Environ. Hort 22(4):176-182.
- Zar JH (1999) Biostatistical analysis. Prentice-Hall. New Jersey. 663 pp.

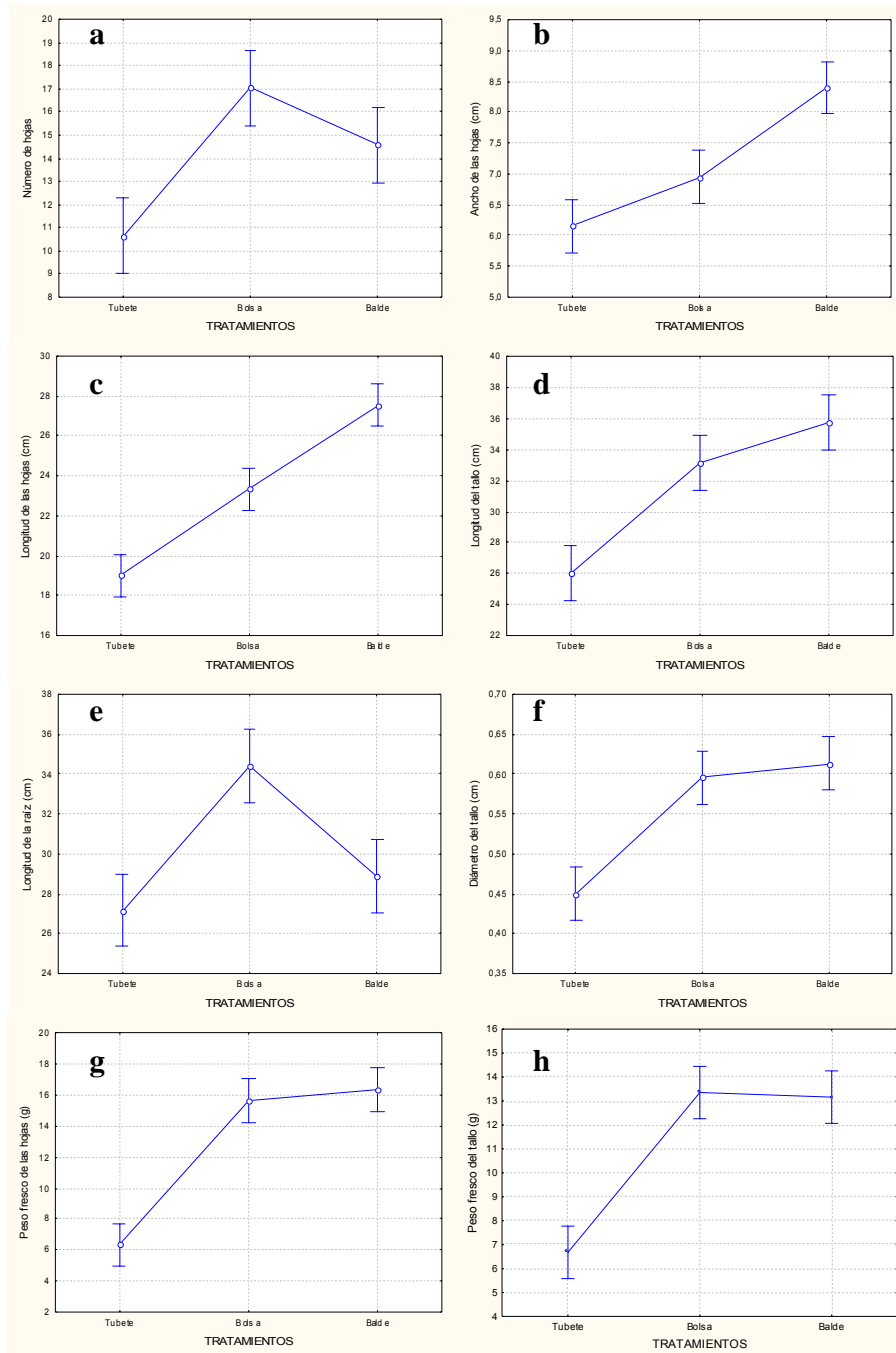
ANEXO

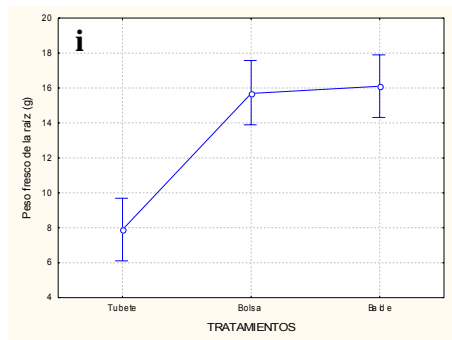
Tabla I.

Caracter	Tratamiento (T)		Muestreo (M)		T X M	
	(df= 2)		(df= 6)		(df= 12)	
	F	P	F	P	F	P
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	*	.318	NS	.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)	.272	NS	.719	NS	.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	.687	NS	1.550	NS

ANOVA Factorial para la evaluación de caracteres vegetativos de plantas de cacao (*T. cacao*) en tres tratamientos correspondientes a contenedores con diferentes tamaños y capacidades volumétricas, tubete (0.4 L), bolsa (1.6 L), balde (3 L). * $p < 0,05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0,001$; NS: No Significativo.

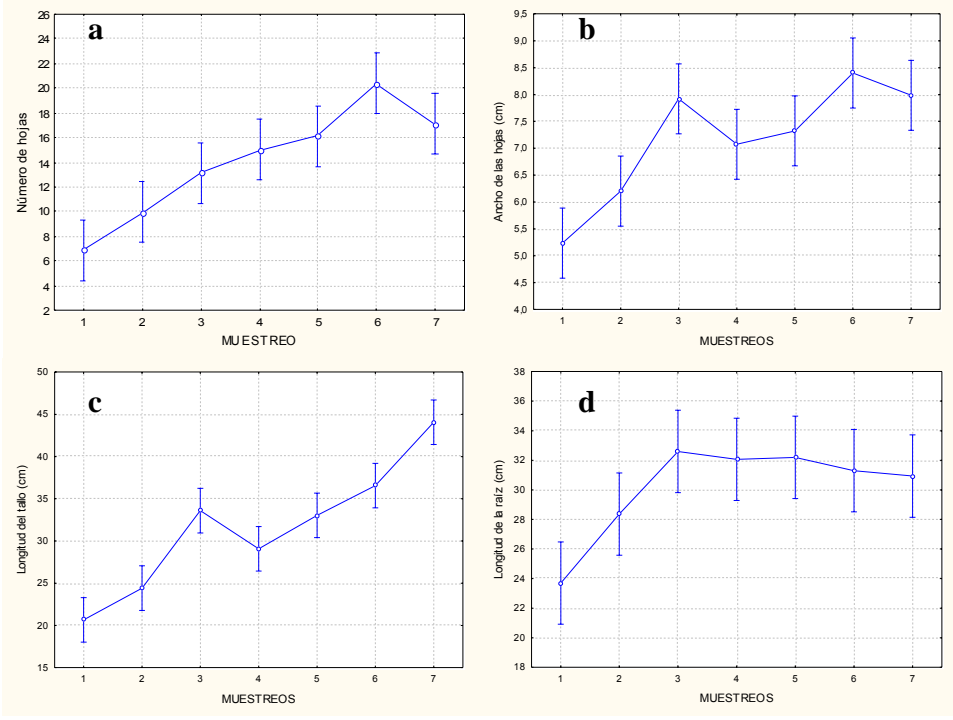
Figura 1

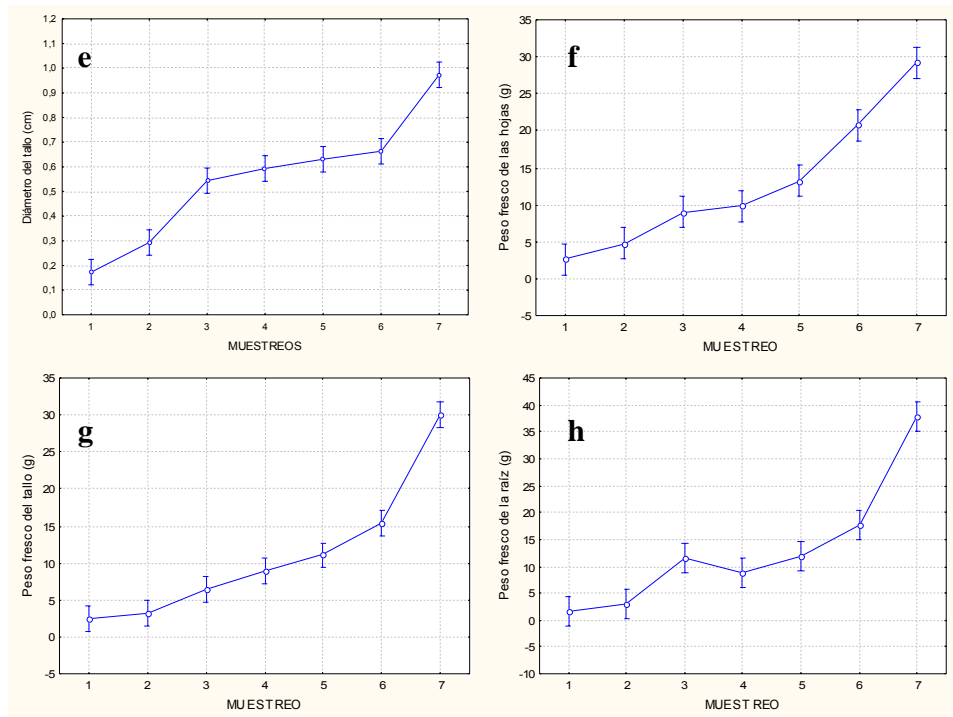




Efecto de los tratamientos tubete (0.4 L), bolsa (1.6 L), balde (3 L) en la expresión de los diferentes caracteres evaluados: número de hojas, ancho de las hojas, longitud de las hojas, longitud del tallo, longitud de la raíz, diámetro del tallo, peso fresco de las hojas, peso fresco del tallo, peso fresco de la raíz.

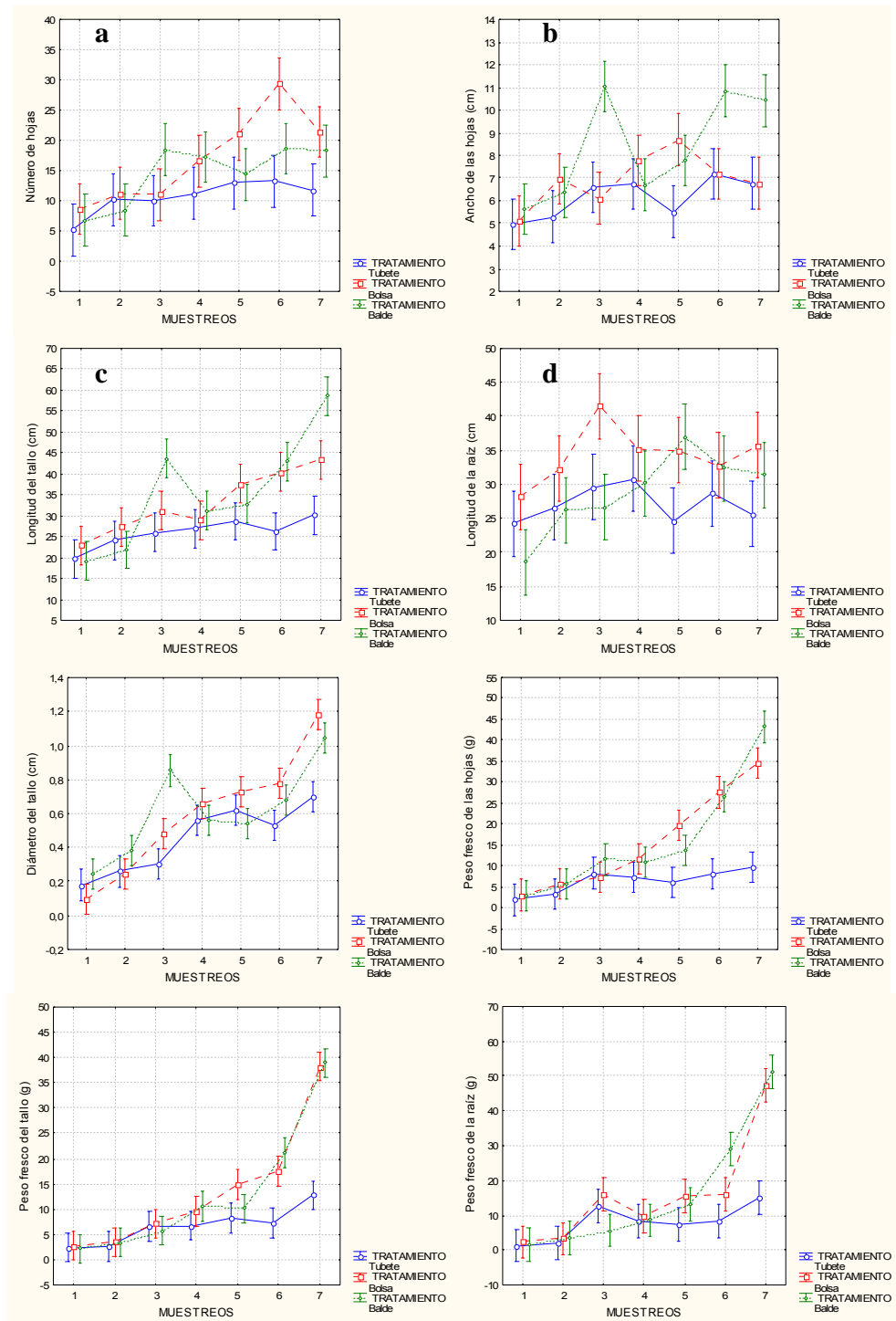
Figura 2.





Efecto de los muestreos (1-7) en la expresión de los diferentes caracteres evaluados: número de hojas, ancho de las hojas, longitud de las hojas, longitud del tallo, longitud de la raíz, diámetro del tallo, peso fresco de las hojas, peso fresco del tallo, peso fresco de la raíz.

Figura 3.



Evaluación de la Interacción tratamiento x muestreo en la evaluación de la expresión de los diferentes caracteres evaluados: número de hojas, ancho de las hojas, longitud de las hojas, longitud del tallo, longitud de la raíz, diámetro del tallo, peso fresco de las hojas, peso fresco del tallo, peso fresco de la raíz.