



Artículo / Article

Sustratos y tamaños de contenedor en el desarrollo de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero

Substrate and container size over the development of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. at the nursery

Olga Santiago Trinidad¹, José de Jesús Vargas Hernández², Arnulfo Aldrete²,
Javier López Upton² y Aurelio Manuel Fierros González²

Resumen

La producción tradicional de *Hevea brasiliensis* en bolsa de plástico presenta varios problemas operativos y de calidad de planta. Con el fin de generar alternativas en vivero, se evaluó el efecto de distintos tamaños de contenedor (1.5 y 2.0 L) y cinco mezclas de sustrato: turba, vermiculita y agrolita (5:3:2); fibra de coco, vermiculita y agrolita (5:3:2); y cascarilla de café con cachaza (ambos materiales composteados) en diferentes proporciones (3:1, 2:2 y 1:3), para compararlos con el sistema tradicional (bolsa de plástico de 5 L con tierra agrícola). Respecto a los atributos morfológicos (altura y diámetro), distribución de biomasa y arquitectura de raíz en plantas de esta especie antes y después del injerto. Los resultados indican que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, vinculadas principalmente al segundo criterio en algunas variables morfológicas ponderadas previa al injerto. En cuanto a la biomasa antes y después del mismo se verificaron diferencias significativas entre tratamientos, asociadas al material de soporte. Referente a la arquitectura de raíz, las diferencias entre tratamientos se relacionaron con los dos factores probados. La interacción contenedor-sustrato resultó menos importante que los componentes por sí solos; el sustrato mostró mayor influencia en el crecimiento de las plantas que el tamaño del contenedor. Lo anterior sugiere que es posible substituir el sistema tradicional de producción de planta de *H. brasiliensis* en bolsa de plástico por un sistema de cultivo en contenedores y materiales compuestos por las combinaciones mencionadas.

Palabras clave: Agrolita, cachaza, contenedor, desarrollo radical, *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., sustrato.

Abstract

The traditional production of *Hevea brasiliensis* in polybags has several operational problems and of quality of the seedlings. In order to find new production alternatives at the nursery for this species, the effect of different sizes of container (1.5 and 2.0 L) and mixtures of substrate: peat moss + vermiculite + agrolite (5:3:2); coconut fiber + vermiculite + agrolite (5:3:2); and coffee husk with cachaza (both composted materials) in different concentrations (3:1, 2:2 and 1:3), in order to compare them to the traditional system (5 L plastic bag with agricultural ground as a substrate), in regard to the morphological attributes, distribution of biomass and root architecture in plants of this species before and after grafting. Results showed significant differences ($p < 0.05$) between treatments, associated mainly to the second criterion in some morphological variables evaluated before the graft. In biomass variables before and after it, there were significant differences between treatments, related majorly to the substrate. In the root architecture variables differences between treatments were linked to both the assessed factors. The container-substrate interaction is less important than the single factors; substrate showed greater influence in seedling growth than the size of the container. The former data suggest that it is possible to replace the traditional production system of *Hevea brasiliensis* in polybags by a production system in containers and a mixture of the aforementioned combinations.

Key words: Agrolite, cachaza, container, root development, *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., substrate.

Fecha de recepción/date of receipt: 14 de agosto de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 6 de abril de 2015.

¹ Campo Experimental El Palmar. CIR- Golfo Centro, INIFAP. Correo-e: santiago.olga@inifap.gob.mx

² Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.

Introducción

El látex es un recurso con amplio mercado mundial, como lo confirma su producción de 11.3 millones de t año⁻¹ (FAOSTAT, 2012), pues es la materia prima base para la elaboración de más de 40 mil productos, incluidos 400 dispositivos médicos, aproximadamente (Mooibroek y Cornish, 2000). México cuenta con alrededor de 350 000 ha bajo condiciones ambientales óptimas para plantaciones (INIFAP, 2008), pero hasta 2012 solo se tenían establecidas 27 165 ha y de ellas 20 225 ha estaban en producción, con 51 280 t de látex (SIAP-Sagarpa, 2013). A pesar de su potencial, esta cifra únicamente cubre 9 % del consumo nacional, por lo que se importan 100 000 t año⁻¹. La principal oportunidad para la comercialización de látex es la gran demanda interna, en la actualidad abastecida casi en 90 % con productos importados y que puede sustituirse en su totalidad por los de origen nacional (CNSPH, 2009).

Ante esa situación, el Comité Nacional Sistema Producto Hule (2009) en coordinación con diversas instituciones planteó impulsar la creación de plantaciones huleras en México, para lograr, en una primera etapa, que se planten 50 000 ha con la mejor tecnología, lo que generó un requerimiento anual de 12 millones de plantas injertadas. El sistema de producción en vivero está vigente desde hace más de 40 años sin modificación alguna, pues aún se utilizan bolsas de polietileno que originan individuos con malformaciones de raíz, sin un estándar de calidad. Lo anterior ha tenido repercusiones negativas en las plantaciones, ya que la deficiente calidad de las plantas reduce las posibilidades de supervivencia y la productividad en campo; incluso, los efectos pueden aparecer varios años después, con mortalidad de árboles debido a deformaciones en el sistema radical causadas por la bolsa, o bien por tener tasas de crecimiento inferiores a lo esperado (Lindström y Rune, 1999).

El sistema de producción en contenedor se perfila como una opción viable toda vez que, en sustitución de la bolsa, maneja envases rígidos (contenedores) tipo tubete o charolas compactas, son reciclables y los diseños permiten un mejor crecimiento de raíz, con ello se evitan los problemas de espiralamiento. También se incorporan sustratos que sustituyen la tierra, por lo que es factible evaluar diferentes subproductos de la industria o esquilmos agrícolas. En ese sentido, el tamaño del envase y las condiciones del sustrato son los factores principales que influyen el crecimiento de las plantas en vivero y, en particular, en las características y estructura del sistema radical (South *et al.*, 2005).

Ante la demanda de grandes cantidades de planta con ciertos estándares de calidad es trascendental valorar y proponer otras alternativas de producción que conlleven a la obtención de individuos con características morfológicas y fisiológicas óptimas para lograr altos índices de supervivencia y crecimiento en el sitio de plantación.

Introduction

Latex is a resource with broad global market, as confirmed by its production of 11.3 million tons year⁻¹ (FAOSTAT, 2012), as it is the raw material basis for the development of more than 40 000 products, including 400 medical devices, approximately (Mooibroek and Cornish, 2000). Mexico has about 350 000 ha under optimum environmental conditions for plantations (INIFAP, 2008), but until 2012 only had established 27 165 ha of which 20 225 ha were in production, with 51 280 tons of latex (SIAP-Sagarpa, 2013). Despite its potential, this figure covers only 9 % of national consumption, which imported 100 000 t yr⁻¹. The main opportunity for the marketing of latex is the strong domestic demand, currently almost 90 % stocked with imported goods and can be replaced entirely by that of national origin (CNSPH, 2009).

On the face of this situation the *Comité Nacional Sistema Producto Hule* (Rubber Product System National Committee) (2009) in coordination with several institutions, proposed to promote the creation of rubber plantations in México, to achieve, in an initial stage, the plantation of 50 000 ha with the best technology, which gave way to an annual requirement of 12 million grafted plants. The production system at the nursery is present ever since more than 40 years ago without any changes, as there are still used polyethylene bags that produce individuals that carry root malformations, without a quality standard. This has had negative consequences on the plantations, since de low plant quality reduces their survival and productivity chances at the field; actually, the effects may appear some years later, with tree mortality from deformities in the root system caused by the bag, or to have lower growth rates than expected (Lindström and Rune, 1999).

The container production system outlines as a viable option as, in replacement of the bag, it handles stiff packs (containers) of the tube type or compound trays, are reusable and their designs allow a better root growth, with which the spiral shapes are avoided. Also, substrates that substitute the ground were added, which makes it possible to assess different industrial sub-products or agricultural wastes. In this sense, the size of the container and the state of the substrate are major factors that have an influence upon the growth of nursery plants, and, in particular, in the attributes and structure of the radical system (South *et al.*, 2005).

Starting from the demand of great amounts of plant with some quality standards, it is transcendental to value and propose different production options that include to get individuals with optimal morphological and physiological production traits to accomplish high survival and growth indexes in the plantation site.

The aim of the actual work was to suggest an option of rubber plant production at the nursery, with good attributes

La finalidad del presente trabajo fue sugerir una opción de producción de plantas de hule en vivero, con características adecuadas para su establecimiento en campo. El objetivo particular del estudio fue evaluar el crecimiento de plantas injertadas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., producidas en dos tamaños de contenedor rígido (1.5 y 2 L) en combinación con cinco mezclas de sustrato, en comparación con las producidas en el sistema tradicional, en el que se utiliza bolsa de polietileno y tierra agrícola como sustrato.

Materiales y Métodos

Localización y condiciones del experimento

El trabajo se realizó en el vivero forestal del Campo Experimental El Palmar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en el municipio Tezonapa, Ver., en el km 16 de la carretera municipal Tezonapa-Palmar (18° 32' N y 96° 47' O, 180 m de altitud). La precipitación pluvial media anual de la región es de 2 885 mm, con una temperatura media de 24 °C.

Para la producción de la planta, la semilla se recolectó de las plantaciones de hule del clon IAN-710 ubicadas dentro del Campo Experimental El Palmar, y se almacenó a temperatura ambiente por dos semanas antes de la siembra. La germinación se llevó a cabo semilla se germinó en un almácigo compuesto por cachaza (producto de la clarificación del jugo de la caña, compuesta principalmente por materia orgánica y lodos provenientes del campo) y cascarilla de café composteados (30: 70 vol); después de sembrada la semilla, el almacigo se cubrió con malla sombra (50 %) a una altura de 1.5 m. En el momento que apareció la radícula, la semilla pregerminada se colocó en los contenedores previamente llenados para iniciar el ensayo; se colocó una semilla por cavidad, a una profundidad no mayor al tamaño de la misma, y se cubrió con el sustrato de la mezcla correspondiente.

A los dos meses del trasplante se realizaron aplicaciones de fungicida Mancozeb® en dosis de 2 g L⁻¹ cada semana, como preventivo de *Microcyclus ulei* (Henn.) Arx, y en la época de lluvias se adicionó Benomil® (2 g L⁻¹) durante siete meses, para evitar la contaminación por hongos de raíz.

A los seis meses posteriores a la siembra en los contenedores, se injertaron las plantas y se trató de estandarizar, lo más posible, el proceso; las yemas se obtuvieron de brotes de ocho semanas de edad del mismo clon que para las semillas. A las dos y tres semanas del injerto, cuando se observó el brote de la yema, se retiró el amarre (cubierta con plástico) y dos semanas después se eliminó la parte terminal del patrón; el corte se cubrió con pintura para evitar pudriciones.

for their establishment at the field. The particular objective of the study was to assess the growth of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. grafted plants, produced in two hard container sizes (1.5 and 2 L) combined with five substrate mixtures, compared to those produced by the traditional system, in which the polyethylene bag and agriculture ground as substrate are used.

Materials and Methods

Location and conditions of the experiment

The work was done in the forest nursery of *El Palmar* Experimental Station of the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)*, located in *Tezonapa* municipality *Veracruz* state, at km 16 of the municipal road *Tezonapa-Palmar* (18°32' N and 96°47' W, 180 m). The average annual rainfall in the region is 2 885 mm, with an average temperature of 24 °C.

For the production of the plant, the seed was collected in clone IAN-710 rubber plantations located within the *El Palmar* Experimental Station, and stored at room temperature for two weeks before planting. Germination was conducted seed was germinated in a seed bed consisting of *cachaza* (product of the clarification of cane juice, composed mainly of organic matter and sludge from the field) and composted coffee hulls (30: 70 vol); after planting the seed, the seedbed was covered with shade cloth (50 %) at a height of 1.5 m. At the time that the radicle appeared, the pregerminated seed is placed in the pre-filled containers to start the test; a seed was placed in each cavity, to a depth not exceeding the size of it, and it was covered with the corresponding substrate mixture.

Two months after transplantation, *Mancozeb*TM fungicide applications were made in doses of 2 g L⁻¹ every week, as a preventive *Microcyclus ulei* (Henn.) Arx, and in the rainy season *Benomil*TM (2 g L⁻¹) was added for seven months, to prevent fungal contamination in the bud.

Six months after planting in containers, the plants were grafted and the process was intended to be standardized as much as possible; the bud sprouts that were obtained were eight weeks old and came from the same clone of the seed. At two and three weeks of the graft, when the bud was observed, the mooring (covered with plastic) was removed and two weeks after, the terminal part of the pattern was eliminated; the cut was covered with paint to prevent rotting.

Experimental design and treatments

The experiment was established with a design divided into complete randomized blocks in a factorial arrangement of 2 x 5, plus an absolute control (a total of 11 treatments), with five replications. Each experimental unit (small plot) consisted of

Diseño experimental y tratamientos

El experimento se estableció con un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar, con arreglo factorial de 2×5 , más un testigo absoluto (un total de 11 tratamientos), con cinco repeticiones. Cada unidad experimental (parcela chica) estuvo constituida por 25 plantas. En las parcelas grandes se asignó el factor "tamaño de contenedor" (Cuadro 1) con dos niveles (1.5 y 2.0 L de capacidad), y en las parcelas pequeñas se asignó el factor "sustrato" con cinco niveles, constituidos por las mezclas: 1) turba, agrolita y vermiculita (5:3:2); 2) fibra de coco, agrolita y vermiculita (5:3:2); y 3) composta de cachaza y cascarilla de café en proporciones 3:1; 2:2 y 1:3, respectivamente. El testigo absoluto estuvo representado por una parcela grande adicional, en la que se siguió el sistema tradicional de producción de planta, en bolsa de polietileno de 5 L de capacidad con tierra agrícola de la localidad.

Cuadro 1. Descripción de los tamaños de contenedor y bolsa utilizados.
Table 1. Description of the container sizes and bags that were used.

Capacidad	Diámetro superior (cm)	Diámetro inferior (cm)	Altura (cm)	Vida útil
Contenedor de 1.5 L	10.7	8.1	26.3	8 a 10 años
Contenedor de 2.0 L	10.7	7.6	32.8	8 a 10 años
Bolsa de 5 L	24.0	-	40.0	Un ciclo (11 meses)

Las cinco combinaciones de sustrato se hicieron con el propósito de evaluar la posibilidad de reemplazar la turba con la fibra de coco (mezclas 1 y 2) y de utilizar materiales orgánicos locales de bajo costo en diferente proporción (mezclas 3, 4 y 5), en sustitución de los materiales comerciales.

En los tratamientos en contenedor se aplicaron 7 g L^{-1} de Osmocote®, fertilizante de liberación lenta con fórmula 15-9-12 de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}+\text{EM}$, con un periodo de liberación de 12 a 14 meses. Para el testigo se diluyeron 3 kg de fertilizante compuesto triple 16 N-P-K en 200 L de agua y se suministraron quincenalmente 200 mL por planta. En todos los tratamientos se efectuaron aplicaciones foliares de *Gro-green*® 20-30-10, a razón de 3 mL L^{-1} , dos veces por semana, durante cinco meses.

Variables evaluadas

Al inicio del experimento se marcaron cinco plantas por parcela para registrar en ellas el crecimiento en altura, diámetro del tallo y número de hojas cada 15 días; además, durante el periodo de producción, se realizó un muestreo destructivo cada dos meses, con dos plantas por parcela y cinco repeticiones (10 plantas por tratamiento), y cinco muestreos en total. Las variables de repuesta evaluadas fueron: altura, desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la planta; diámetro del tallo, medido a 0.5 cm por encima

de las plantas. En las grandes parcelas, el "tamaño de contenedor" factor (Table 1) with two levels (1.5 and 2.0 L capacity) was allocated, and to the small plots, the "substrate" factor with five levels, made-up by the mixtures was assigned: 1) peat moss + agrolite + vermiculite (5:3:2); 2) coconut fiber + agrolite + vermiculite (5:3:2); and 3) composted cachaza and coffee husk in 3:1; 2:2 ratios and 1:3, respectively. The absolute control was represented by an additional large plot, in which the traditional production plant in polyethylene bags of 5 L capacity with agricultural land of the surroundings was followed.

The five substrate combinations were made in order to evaluate the possibility of replacing peat moss with coconut fiber (mixtures 1 and 2) and to use local low-cost organic materials in different proportions (mixtures 3, 4 and 5) to substitute the commercial materials.

In the container treatments 7 g L^{-1} Osmocote™, were applied, a slow release fertilizer 15-9-12 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{K}_2\text{O} + \text{MS}$ formula, with a release period of 12 to 14 months. For the control 3 kg of triple 16 NPK compound fertilizer were diluted in 200 L of water and 200 mL biweekly per plant were supplied. In all foliar treatments 20-30-10 *Gro-green*™ applications were performed at a rate of 3 mL L^{-1} , twice a week, for five months.

Assessed variables

At the beginning of the experiment, five plants were marked by plot to record in them growth in height, stem diameter and number of leaves every 15 days; in addition, during the production period, a destructive sampling every two months, with two plants per plot and five replications (10 plants per treatment) and five samples in total was performed. The evaluated response variables were: height, from the root collar to the apex of the plant; stem diameter, measured 0.5 cm above the substrate; after grafting diameter and the grafted bud pattern was measured. In the records of the number of leaves and leaf area they were considered only those photosynthetically active in the pattern and then in the sprout. It is noteworthy that the biomass at 10 months after transplantation corresponded to the outbreak of the graft, so the data are lower than those for the six months. The leaf area was measured with a LI-3100C model leaf area integrator.

del sustrato; después del injerto se midió el diámetro del patrón y del brote injertado. En los registros del número de hojas y área foliar se consideraron solo las hojas fotosintéticamente activas en el patrón y después en el brote. Cabe mencionar que la biomasa aérea a los 10 meses del trasplante correspondió al brote del injerto, por lo que los datos son menores que los correspondientes a los seis meses. El área foliar se midió con un integrador de área foliar modelo LI-3100C.

La arquitectura de la raíz se describió a partir de la medición y conteo de las raíces adventicias, las primarias y secundarias derivadas de la raíz pivotante; en los tres primeros muestreos se consideraron todas las raíces en cada planta, pero en los siguientes, la raíz pivotante se dividió en dos secciones (superior e inferior) y en una muestra de 5 cm de cada sección se evaluaron los dos tipos de raíces (raíces primarias y secundarias); se hizo una extrapolación de esta medida a todo el sistema.

La biomasa de las partes aérea y radical de cada planta se colocaron por separado dichas secciones en bolsas de papel, con su respectiva etiqueta y se secaron en una estufa marca TMP-Riossa a 80 °C por 72 h. Posteriormente, de cada muestra se obtuvo por separado el peso seco (g) del tallo, hojas, raíz pivotante, raíces primarias y secundarias.

Con los datos promedio por parcela, se estimaron las tasas de crecimiento relativo de altura, diámetro y número de hojas ($Trca$, $Trcd$ y $Trch$) que representa la eficiencia de la planta para producir nuevo material en un periodo determinado se utilizó la siguiente ecuación para cada variable:

$$Trc = \frac{\log A_2 - \log A_1}{T_2 - T_1}$$

Donde:

- $\log A_2$ = Logaritmo de la altura en el tiempo 2
- $\log A_1$ = Logaritmo de la altura en el tiempo 1
- T_2 = Tiempo 2
- T_1 = Tiempo 1

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el procedimiento ANOVA del paquete *Statistical Analysis System* (SAS, 2002), con un nivel de significancia de 5 %, a partir de los valores promedio por parcela. En una primera etapa se incluyeron los datos de los 11 tratamientos con un modelo de bloques completos al azar, para evaluar el efecto de los tratamientos y comparar, mediante pruebas de contrastes, el efecto del testigo absoluto vs. la media de los tratamientos en contenedor. En una segunda base se excluyó el testigo absoluto y se realizó un análisis parcial con los 10 tratamientos en contenedor; el modelo estadístico

The architecture of the root is described by measuring and counting of the adventitious roots, the primary and secondary derived from the taproot; in the first three samples all the roots on each plant were considered, but in the following, the taproot was divided into two sections (upper and lower) and a sample of 5 cm from each section the two types of roots were evaluated (primary and secondary) roots; an extrapolation of this measure was made to the entire system.

The biomass of the aerial and root parts of each plant were placed separately in paper bags with their respective tag and dried in a TMP-Riossa kiln at 80 °C for 72 h. Subsequently, from each sample was obtained dry weight (g) of the stem, leaves, taproot, primary and secondary roots by group.

With average data per plot, relative growth rates in height, diameter and number of leaves ($Trca$, $Trcd$ and $Trch$) representing the efficiency of the plant to produce new material in a given period were estimated and the following equation was used for each variable:

$$Trc = \frac{\log A_2 - \log A_1}{T_2 - T_1}$$

Where:

- $\log A_2$ = Logarithm of the height at time 2
- $\log A_1$ = Logarithm of the height at time 1
- T_2 = Time 2
- T_1 = Time 1

Statistical analysis

Data were analyzed with the ANOVA procedure of the Statistical Analysis System (SAS, 2002) package with a significance level of 5 % from the average values per plot. In a first stage, the data from the 11 treatments with a model of a randomized complete block were included to evaluate the effect of treatments and compare, by contrast tests, the effect of absolute control vs. the average of treatments in container. In a second base, the absolute control was excluded and a partial analysis was performed with the 10 treatments in container. The statistical model used is adjusted to a factorial arrangement in a split plot design:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + P_k + \epsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Where:

- μ = General media
- α_i = Effect of the i^{th} level of the container size factor assigned to large plots
- P_k = Effect of the k^{th} block
- ϵ_{ik} = Random error of the large plot

utilizado se ajusta a un arreglo factorial en un diseño de parcelas divididas:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + P_k + \varepsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- μ = Media general
- α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor tamaño de contenedor asignado a las parcelas grandes
- P_k = Efecto del k-ésimo bloque
- ε_{ik} = Error aleatorio de la parcela grande
- β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor sustrato asignado a las parcelas pequeñas
- $(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre ambos factores
- ε_{ijk} = Error experimental correspondiente a las parcelas pequeñas

Los datos del efecto de los tratamientos y la comparación de todos vs. testigo corresponden al análisis completo de los 11 tratamientos, y los datos de los factores y su interacción, al análisis parcial de los 10 tratamientos.

Resultados y Discusión

Crecimiento en altura y diámetro de las plantas

A los seis meses del trasplante, las plantas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en respuesta a los tratamientos evaluados en la altura y el diámetro del tallo, pero no en el número de hojas. En la altura, el diámetro y la tasa relativa de crecimiento en diámetro (Trcd) se verificaron mediante la comparación de los tratamientos con el testigo absoluto, pero no entre los tamaños de contenedor; el sustrato solo tuvo efectos significativos en la altura, el diámetro y la tasa relativa de crecimiento en altura (Trca); para las otras variables las diferencias no fueron significativas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de significancia (p) de las variables de crecimiento en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., antes del injerto, a los seis meses del trasplante.

Table 2. Significance values of significance (p) of the growth variables in *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants before grafting, six months after transplantation.

Fuente de variación	Alt	Dia	Hojas	Trca	Trcd	Trch
Tratamientos	0.0002	0.0001	0.2890	0.0062	0.0086	0.1600
Todos vs. testigo	0.0001	0.0001	0.2895	0.4386	0.0005	0.0873
Contenedor	0.0603	0.7229	0.3369	0.4674	0.8323	0.8242
Sustrato	0.0026	0.0158	0.3384	0.0019	0.0876	0.0926
Contenedor * Sustrato	0.4853	0.3415	0.4087	0.3370	0.4256	0.6967

Alt = Altura del tallo; Dia = Diámetro; Trca = Tasa relativa de crecimiento de la altura; Trcd = Tasa relativa de crecimiento del diámetro; Trch = Tasa relativa de crecimiento de las hojas.

Alt = Height of the stem; Dia = Diameter; Trca = Relative rate of height growth; Trcd = Relative diameter growth rate; Trch = Relative rate of leaves growth.

β_j = Effect of the jth level of the substrate factor assigned to small plots

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Effect of the interaction between the two factors

ε_{ijk} = Experimental Error corresponding to the small plots

The data of the effect of the treatments and the comparison of all against the witness correspond to the complete analysis of the 11 treatments, and the data of the factors and their interaction, to the partial analysis of the 10 treatments.

Results and Discussion

Growth in height and diameter of the plants

Six months after the transplant, the plants showed significant differences ($P < 0.05$) in response to the treatments evaluated in height and stem diameter, but not in the number of leaves. In height, diameter and the relative growth rate in diameter (Trcd) were verified by comparing the absolute control treatments, but not between the sizes of the container; the substrate only had significant effects on height, diameter and relative height growth rate (Trca); for the other variables the differences were not significant (Table 2).

After 10 months of transplantation, only statistically significant differences in comparison with the control treatment in all the evaluated variables were confirmed. The independent factors, container and substrate as well as the interaction of both showed no significant effect ($p < 0.05$) in any of them (Table 3).

When comparing the control (production bag) with the container production, the values of height, diameter and relative growth rate in diameter at six months after transplantation were 16, 21 and 17 % higher than in the control treatments container (Table 4). This effect was expected, because the bag has 2.5 times more volume (5 L) in the tested container treatments

Después de 10 meses del trasplante, solo se confirmaron diferencias estadísticas significativas en la comparación de los tratamientos con el testigo en todas las variables evaluadas. Los factores independientes, contenedor y sustrato, así como la interacción de ambos no mostraron un efecto significativo ($p \leq 0.05$), en ninguna de ellas (Cuadro 3).

Al comparar el testigo (producción en bolsa) con la producción en contenedor, los valores de altura, diámetro y tasa relativa de crecimiento en diámetro a los seis meses del trasplante fueron 16, 21 y 17 % superiores en el testigo que en los tratamientos en contenedor (Cuadro 4). Era esperado tal efecto, pues la bolsa tiene 2.5 veces más volumen (5 L) que los tratamientos en contenedor evaluados (2.0 y 1.5 L), lo que resultó en individuos de mayores dimensiones (112.82 cm en Alt y 10.48 mm en Dia). De acuerdo con South *et al.* (2005), las plantas leñosas tienden a disminuir su calidad a medida que son más grandes o rebasan, por mucho, la dimensión del envase, lo que provoca una pérdida del equilibrio entre el tamaño del tallo y la parte radical. Domínguez (2006) y South *et al.* (2005) opinan que con contenedores de mayor capacidad se pueden obtener mejores ejemplares, siempre y cuando exista una relación balanceada entre su tamaño y del individuo.

En el factor tamaño de contenedor no se registraron diferencias estadísticamente significativas en las variables de crecimiento evaluadas; sin embargo, al analizar el efecto del sustrato a los seis meses del trasplante, se determinó que el compuesto por turba, agrolita y vermiculita (S1) se concretó en los valores más altos para la altura y el Trca. En la combinación de fibra de coco, vermiculita y agrolita (S2), el diámetro registró la cifra más alta en comparación con los otros tratamientos; para las demás variables las diferencias no fueron significativas entre las mezclas (Cuadro 4).

Al contrastar el crecimiento de las plantas entre los sistemas de producción a los 10 meses del trasplante, los resultados muestran que las plantas alcanzaron mayor tamaño del brote en el tratamiento testigo que en los contenedores, lo mismo ocurrió a los seis meses; se esperaba dicha respuesta, ya que la bolsa era de mayor volumen (5 L).



(2.0 and 1.5 L), resulting in larger individuals (112.82 cm in Alt and 10.48 mm in Dia). According to South *et al.* (2005), woody plants tend to diminish their quality as they are larger or exceed, by far, the size of the container, causing a loss of balance between the size of the stem and the radical part. Domínguez (2006) and South *et al.* (2005) argue that larger containers can get better saplings, provided there is a balanced relationship between their size and that of the individual.

Cuadro 3. Valores de significancia ($p \leq 0.05$), del crecimiento después del injerto de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., a los 10 meses de trasplante.

Table 3. Values of significance ($p < 0.05$) growth after grafting *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants, 10 months after transplantation.

Fuente de variación	Albr	Dmbr	Dmpa	Afbr
Tratamientos	0.0001	0.0158	0.0001	0.0307
Todos vs. Testigo	0.0001	0.0030	0.0001	0.0004
Contenedor	0.5589	0.7101	0.9695	0.6808
Sustrato	0.9544	0.1470	0.5817	0.5358
Contenedor * Sustrato	0.8674	0.1359	0.8760	0.3602

Albr = Altura del brote; Dmbr = Diámetro del brote; Dmpa = Diámetro del patrón; Afbr = Área foliar del brote.

Albr = Height of the bud; Dmbr = Diameter of the bud; Dmpa = Diameter of the pattern; Afbr = Leaf area of the bud.

In the size of the container factor, no statistically significant differences were found in the growth of the evaluated variables; however, when analyzing the effect of the substrate at six months after transplantation, it was determined that the compound of peat moss, agrolite and vermiculite (S1) was finalized in higher values for height and Trca. In the combination of coconut fiber, vermiculite and agrolite (S2), the diameter recorded the highest figure compared to other treatments; for the other variables, there were not significant differences between the mixtures (Table 4).

When making a contrast of the growth of plants between the production systems at 10 months after transplantation, the results show that the plants reached larger bud sizes in the control treatment than in the containers, as it happened at six months; such a response was expected, as the bag had a larger volume (5 L).

When the effects of the container sizes at 10 months of transplantation were compared, no statistically significant differences in the growth variables were recorded, despite the larger (2 L) having a volume 25 % higher than the other (Table 5). Before and after grafting this factor was not limiting for the growth of plants; however, the peculiarities of the container must

Cuadro 4. Valores medios de variables de crecimiento antes del injerto en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., a los seis meses del trasplante.Table 4. Mean values of growth variables before grafting in *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants, six months after transplantation.

Fuente de variación	Variables					
	Alt (cm)	Dia (mm)	Hojas (número)	Trca (cm m ⁻¹ día ⁻¹)	Trcd (mm cm ⁻¹ día ⁻¹)	Trch (min hr ⁻¹ día ⁻¹)
Testigo	112.82 a	10.48 a	23.2 a	0.3743 a	0.2666 a	0.3861 a
Contenedores	94.6 b	8.3 b	21.8 a	0.3655 a	0.2222 b	0.4206 a
Factor Contenedor						
1.5 L	91.95 a	8.26 a	21.35 a	0.3629 a	0.2212 a	0.4267 a
2.0 L	97.23 a	8.35 a	22.24 a	0.3681 a	0.2263 a	0.4178 a
Factor Sustrato						
S1	100.37 a	8.45 b	22.44 a	0.3890 a	0.2329 a	0.4388 a
S2	99.15 a	8.77 a	21.56 a	0.3682 a	0.2357 a	0.4058 a
S3	86.78 b	8.00 b	21.36 a	0.3470 b	0.2151 a	0.4202 a
S4	89.26 ab	7.97 b	20.54 a	0.3593 b	0.2091 a	0.3969 a
S5	97.40 ab	8.34 ab	23.10 a	0.3624 b	0.2268 a	0.4382 a

Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

Alt = Altura del tallo; Dia = Diámetro; Trca = Tasa relativa de crecimiento de la altura; Trcd = Tasa relativa de crecimiento del diámetro; Trch = Tasa relativa de crecimiento de las hojas. S1 = 50 % turba, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S2 = 50 % fibra de coco, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S3 = 75 % cachaza, 25 % cascarilla de café; S4 = 50 % cachaza, 50 % cascarilla de café; S5 = 25 % cachaza, 75 % cascarilla de café.

Different letters in the same column are significantly different (Tukey $\alpha = 0.05$).

Alt = Height of the stem; Dia = Diameter; Trca = Relative rate of height growth; Trcd = Relative diameter growth rate; Trch = Relative rate of leaves growth; S1 = 50 % peat moss + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S2 = 50 % coconut fiber + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S3 = 75 % cachaza + 25 % coffee husk; S4 = 50 % cachaza + 50 % coffee husk; S5 = 25 % cachaza + 75 % coffee husk.

Cuando se compararon los efectos de los tamaños de los contenedores a los 10 meses del trasplante, no se registraron diferencias estadísticamente significativas en las variables de crecimiento, a pesar de que el más grande (2 L) tenía un volumen 25 % superior al otro (Cuadro 5). Antes y después del injerto este factor no fue limitante para el desarrollo de las plantas; sin embargo, las peculiaridades del envase deben considerarse para garantizar la calidad, así como el costo de producción. En este contexto, Prieto *et al.* (2007) obtuvo resultados similares al evaluar tres diferentes tamaños (80, 170 y 260 cm³) en el crecimiento de *Pinus engelmanni* Carr., en los cuales la diferencia del envase de mayor capacidad, con respecto al intermedio fue de 34 %. El tipo y tamaño del contenedor no afecta la supervivencia en los sitios de fácil regeneración, pero donde existen problemas de humedad y de exposición, con pendiente pronunciada, por ejemplo, esas características pueden ser determinantes para la supervivencia y el bienestar de los ejemplares (South *et al.*, 2005).

Al analizar el efecto de los sustratos a los 10 meses del trasplante, no se registraron diferencias estadísticas significativas para ninguna de las variables (Cuadro 5). El sustrato en el contenedor favoreció una proporción equilibrada entre

be considered to ensure the quality and production cost. In this context, Prieto *et al.* (2007) found similar results when evaluating different sizes (80, 170 and 260 cm³) in *Pinus engelmanni* Carr. growth in which the difference of the container of larger capacity, with respect to the intermediate, was 34 %. The type and size of the container does not affect survival in easy regeneration sites, but where there are moisture problems and exposure to steep slope, for example, these characteristics can be decisive for the survival and well-being of the specimens (South *et al.*, 2005).

When analyzing the effect of the substrates at 10 months after transplantation, no statistical significant differences were found for any of the variables (Table 5). The substrate in the container favored a balanced ratio between shoot and root before and after grafting. Rodrigues and Costa (2009) observed that *Hevea brasiliensis* reached more height and stem diameter on a substrate based on pine bark compost, peat moss and controlled release fertilizer, wherein when the first material is used. Valdés *et al.* (2014) and Fernández *et al.* (2012) found that the height and diameter showed the highest values in compost mixtures, with respect to plants grown in soil. Based on the growth variables evaluated in individuals

la parte aérea y la radicular, antes y después del injerto. Rodrigues y Costa (2009) observaron que *Hevea brasiliensis* alcanzó más altura y diámetro del tallo en un sustrato a base de composta de corteza de pino, turba y fertilizante de liberación controlada, que cuando se usa el primer material. Valdés *et al.* (2014) y Fernández *et al.* (2012) determinaron que la altura y el diámetro presentaron los valores más altos en mezclas de compostas, con respecto a las plantas producidas en suelo. Con base en las variables de crecimiento evaluadas en los individuos producidos en contenedor, las mezclas a base de compostas de cachaza y cascarilla de café replazan a la turba, la agrolita y la vermiculita o, en su caso, la fibra de coco como sustituto de la turba.

Producción de biomasa

De las variables relacionadas con la producción de biomasa se tienen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados y el testigo; Psta, Psfo, Pst, Rpar y Fibro tuvieron mayor respuesta antes de realizar el injerto. A los 10 meses del trasplante, las diferencias estadísticas se presentaron en la comparación de los contenedores con el testigo para las variables Psta, Psfo, Psrpi y Pst. En los factores estudiados, dichas diferencias solo se verificaron para Psrs en el contenedor y Rpar en el sustrato, mientras que la interacción contenedor*sustrato no mostró efecto significativo (Cuadro 6).

Antes del injerto, las variables referidas (Psta, Psfo, Psto y Rpar) fueron 54, 38, 36 y 37 % mayores, respectivamente, en el tratamiento testigo que en los contenedores; sin embargo, el valor promedio de Fibro fue 39 % más alto en sentido inverso (Cuadro 7). Estas variables son atributos relevantes para el desempeño y supervivencia de las plantas en campo y son complementarias de la altura y el diámetro para describir mejor la calidad morfológica de los individuos producidos en contenedor (Oliet, 2000; Navarro *et al.*, 2006).

Al analizar los datos como efectos independientes resultó que en la mezcla del sustrato S1 se registraron los valores más destacados para el peso seco del tallo (27 %), el follaje (20 %) y la biomasa seca total (20 %); superiores en relación con la mezcla (S4), en la que las cifras fueron de 4 %, 6 % y 7 % más de biomasa, en comparación con los valores más bajos (S2) para esas variables. Fernández *et al.* (2012) recomiendan la utilización de sustratos orgánicos porque mejoran la calidad de la planta, acortan los tiempos de producción y favorecen la probabilidad de éxito en la plantación.

Aun con los datos anteriores en el S1, no hubo diferencias significativas entre las mezclas evaluadas, con respecto a la parte aérea-raíz que indica el equilibrio del crecimiento, así como con la fibrosidad (Cuadro 7). Fernández *et al.* (2012) señalan que los números sobresalientes de peso seco del sistema radical en plántulas de *Manilkara sapota* (L.) P. Royen en vivero se obtuvieron para los sustratos formados por humus de lombriz, cachaza y estiércol, en comparación con los del suelo.

produced container, blends based composts of rum and coffee husks to replace peat moss, agrolite and vermiculite or, where appropriate, coconut fiber as a substitute of peat moss.

Cuadro 5. Valores medios de las variables de crecimiento después del injerto en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., a los 10 meses del trasplante.

Table 5. Mean values of growth variables after grafting in *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants 10 months after transplantation.

Fuente de variación	Variables			
	Albr (cm)	Dmbr (mm)	Dmpa (mm)	Afbr (cm m ⁻¹ día ⁻¹)
Testigo	23.05 a	6.58 a	15.02 a	650.63 a
Contenedores	11.56 b	5.43 b	10.47 b	241.72 b
Factor Contenedor				
1.5 L	12.03 a	5.35 a	10.48 a	260.05 a
2.0 L	11.09 a	5.51 a	10.47 a	225.38 a
Factor Sustrato				
S1	11.68 a	5.75 a	10.91 a	315.89 a
S2	12.11 a	5.69 a	10.68 a	231.65 a
S3	11.63 a	5.57 a	10.31 a	206.62 a
S4	10.99 a	5.22 a	10.35 a	195.45 a
S5	11.38 a	4.93 a	10.13 a	263.96 a

Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$).

Albr = Altura del brote; Dmbr = Diámetro del brote; Dmpa = Diámetro del patrón; Afbr = Área foliar del brote. S1 = 50 % turba; 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S2 = 50 % fibra de coco, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S3 = 75 % cachaza, 25 % cascarilla de café; S4 = 50 % cachaza, 50 % cascarilla de café; S5 = 25 % cachaza, 75 % cascarilla de café.

Different letters in the same column are significantly different (Tukey $\alpha = 0.05$).

Albr = Height of the bud; Dmbr = Diameter of the bud; Dmpa = Diameter of the pattern; Afbr = Leaf area of the bud. S1 = 50 % peat moss + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S2 = 50 % coconut fiber + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S3 = 75 % cachaza + 25 % coffee husk; S4 = 50 % cachaza + 50 % coffee husk; S5 = 25 % cachaza + 75 % coffee husk.

Biomass production

Of the variables related to biomass production, there are significant differences ($p < 0.05$) between treatments and control; Psta, Psfo, Pst, and Fibro had a higher response before the graft. At 10 months after transplantation, they showed statistical differences in comparison of the containers to control for the Psta, Psfo, Psrpi and Pst variables. In the studied factors, only these differences were occurred for Psrs and Rpar in the substrate, while the substrate - container interaction showed no significant effect (Table 6).



Cuadro 6. Valores de significancia ($p \leq 0.05$) de las variables de biomasa de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. antes y después del injerto a los seis y 10 meses del trasplante.Table 6. Significance values ($p < 0.05$) of biomass variables of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants before and after the graft, six and 10 months after transplantation.

Fuente de variación		Psta	Psfo	Psрпи	Psrs	Psto	Rpar	Fibro
Antes del injerto	Tratamiento	0.0001	0.0089	0.1058	0.2721	0.0117	0.0144	0.0203
	Todos vs. Testigo	0.0001	0.0017	0.2370	0.3993	0.0038	0.0001	0.0078
	Contenedor	0.6846	0.4379	0.4871	0.7738	0.5652	0.4779	0.1571
	Sustrato	0.0153	0.0397	0.0644	0.0908	0.0271	0.9999	0.0728
	Contenedor*Sustrato	0.5014	0.4190	0.3704	0.5478	0.3847	0.9993	0.5744
Después del injerto	Tratamiento	0.0016	0.0015	0.0001	0.0980	0.0001	0.4075	0.2257
	Todos vs. Testigo	0.0001	0.0001	0.0001	0.8261	0.0001	0.7490	0.1719
	Contenedor	0.6972	0.3305	0.6728	0.0348	0.2560	0.5559	0.0688
	Sustrato	0.7304	0.9925	0.4614	0.0388	0.9999	0.0532	0.5929
	Contenedor*Sustrato	0.9718	0.9828	0.9800	0.7877	0.9776	0.8858	0.8627

Psta = Peso seco del tallo; Psfo = Peso seco del follaje; Psрпи = Peso seco de la raíz pivotante; Psrs = Peso seco de las raíces secundarias; Psto = Peso seco total; Rpar = Relación parte aérea raíz (Psta+Psfo/Psrpi+Psrs); Fibro = Fibrosidad (Psrs/ Psрпи).

Psta = Dry weight of the stem; Psfo = Dry weight of foliage; Psрпи = Dry weight of the taproot; Psrs = Dry weight of the secondary roots; Psto = Total dry weight; Rpar = Root aerial part ratio (Psta + Psfo / Psрпи + PSRS); Fibro = Fibrousness (Psrs / Psрпи).

Cuadro 7. Valores medios de las variables de biomasa de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. antes del injerto a los seis meses del trasplante.Table 7. Mean values of biomass+ variables before grafting in *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants, six months after transplantation.

Fuente de variación	Variables						
	Psta (gr)	Psfo (gr)	Psрпи (gr)	Psrs (gr)	Psto (gr)	Rpar	Fibro
Testigo	13.61 a	20.25 a	10.03 a	1.46 a	45.35 a	2.95 a	0.1452 b
Contenedores	6.2 b	12.60 b	8.23 a	1.94 a	28.76 b	1.85 b	0.2381 a
Factor Contenedor							
1.5 L	5.86 a	11.61 a	7.34 a	2.05 a	26.88 a	1.99 a	0.268 a
2.0 L	6.55 a	13.57 a	8.71 a	1.84 a	30.65 a	2.17 a	0.214 a
Factor Sustrato							
S1	8.77 a	16.48 a	10.06 a	2.89 a	38.21 a	1.97 a	0.2882 a
S2	4.53 b	9.56 b	5.40 a	1.43 a	20.85 b	2.09 a	0.2870 a
S3	5.15 b	11.42 ab	7.59 a	1.80 a	25.97 ab	1.86 a	0.2187 a
S4	6.41 ab	13.15 ab	9.01 a	1.93 a	30.50 ab	1.86 a	0.2049 a
S5	6.17 ab	12.35 ab	8.08 a	1.67 a	28.28 ab	1.92 a	0.2075 a

Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

Psta = Peso seco del tallo; Psfo = Peso seco del follaje; Psрпи = Peso seco de la raíz pivotante; Psrs = Peso seco de las raíces secundarias; Psto = Peso seco total; Rpar = Relación parte aérea raíz (Psta+Psfo/Psrpi+Psrs); Fibro = Fibrosidad (Psrs/ Psрпи). S1 = 50 % turba, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S2 = 50 % fibra de coco, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S3 = 75 % cachaza, 25 % cascarilla de café; S4 = 50 % cachaza, 50 % cascarilla de café; S5 = 25 % cachaza, 75 % cascarilla de café.

Different letters in the same column are significantly different (Tukey $\alpha = 0.05$).

Psta = Dry weight of the stem; Psfo = Dry weight of foliage; Psрпи = Dry weight of the taproot; Psrs = Dry weight of the secondary roots; Psto = Total dry weight; Rpar = Root aerial part ratio (Psta + Psfo / Psрпи + Psrs); Fibro = Fibrousness (Psrs / Psрпи). S1 = 50 % peat moss + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S2 = 50 % coconut fiber + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S3 = 75 % cachaza + 25 % coffee husk; S4 = 50 % cachaza + 50 % coffee husk; S5 = 25 % cachaza + 75 % coffee husk.

A los 10 meses del trasplante en el testigo se obtuvieron mayores porcentajes de biomasa en Psta (68 %), Psfo (59 %), Psrp (71 %) y Psto (65 %) en relación con los de los contenedores; para las otras variables no hubo diferencias. En los efectos independientes, el factor sustrato se relacionó con la biomasa solo en la variable peso seco de las raíces secundarias, con 54 % más biomasa en la mezcla formada por turba (S1), con respecto a la de menor valor (S4). (Cuadro 8).

El volumen del envase en el tratamiento testigo (5 L) favoreció más producción de biomasa aérea, lo contrario ocurrió en el sistema radical, pues aun cuando dispuso de un espacio más amplio, no presentó valores superiores a los obtenidos en los contenedores. La fibrosidad fue mayor en estos últimos, por lo que la planta aprovechó mejor el espacio, y generó un número más grande de raíces de primer y segundo orden, capaces de explorar más rápido el lugar donde serán plantadas. Un sistema radical fibroso y largo, así como la biomasa están estrechamente relacionados con la supervivencia y el desarrollo en el sitio de plantación (Atzmon *et al.*, 1994; Haase, 2006).

Al analizar los datos como efectos independientes resultó que ambos tipos de contenedor influyen en la biomasa de las plantas; en el de 1.5 L se registraron los mejores promedios en las variables evaluadas. Al parecer 500 mL de volumen no marcaron diferencia para la producción de biomasa entre los distintos tamaños de contenedor (Cuadro 8).

Con el tipo de sustrato no se confirma una tendencia, pero sí se advierte que las mezclas de los sustratos S1 y S2 influyeron positivamente en el Psrs.

Arquitectura de la raíz

Antes del injerto, a los seis meses después del trasplante, se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la arquitectura de raíz en todos los tratamientos con el testigo en las variables Lonrp, Diarp, Lonrad, Nrpri y Lrpri. En los efectos independientes, la significancia estadística se confirmó en Lonrp, Diarp y Nrpri, pero no entre la interacción contenedor*sustrato (Cuadro 9).

A los 10 meses del trasplante, las diferencias significativas entre tratamientos correspondieron a las variables Lonrp, Nrpri, Lrpri y Nrspri. Al confrontar el testigo con todos los tratamientos, se verificaron en Lonrp, Diarp, Nrsrd, Nrpri y Lrpri. El efecto de los factores independientes influyó en Lonrp, Nrspri, Lonrad y Nrpri (Cuadro 9).

Before grafting, the aforementioned variables (Psta, Psfo, Psto and Rpar) were 54, 38, 36 and 37 % higher, respectively, in the control treatment than in the containers; however, the average value of Fibro was 39 % higher in reverse (Table 7). These variables are important attributes for the performance and survival of plants in the field and are complementary to height and diameter to better describe the morphological quality of the individuals produced in container (Oliet, 2000; Navarro *et al.*, 2006).

When analyzing the data as separate effects, it came out that in the mix of substrate S1, the highest stem dry weight (27 %), foliage (20 %) and total dry biomass (20 %) values were recorded; they were above to those of mixture (S4), in which the numbers were 4 %, 6 % and 7 % biomass compared to the lowest values (S2) for those variables. Fernández *et al.* (2012) recommend the use of organic substrates that improve plant quality, shorten production time and favor the probability of success on the plantation.

Even with the above data in S1, there were no significant differences between the evaluated mixtures with respect to the air-root portion indicating growth balance as well as fibrousness (Table 7). Fernández *et al.* (2012) note that the outstanding numbers of dry weight of the root system in seedlings of *Manilkara sapota* (L.) P. Royen at the nursery were obtained for substrates composed of worm humus, cachaza and manure, with respect to the ground.

At 10 months after transplantation in the control were found higher percentages of biomass in Psta (68 %), Psfo (59 %), Psrp (71 %) and Psto (65 %) relative to the container; for the other variables, there were no differences. In the independent effects, the substrate factor related to biomass only in the dry weight variable of secondary roots, with 54 % more biomass in the mixture of peat moss (S1) with respect to the lower value (S4) (Table 8).

The container volume in the control treatment (5 L) favored more biomass production, the opposite of which occurred in the root system, because even when it had a larger space, it did not present higher values than those in the containers. Fibrousness was higher in the latter, so that the plants took better advantage of the space, and generated a larger number of roots of first and second order, able to explore faster where they will be planted. A long fibrous root system and biomass are closely related to survival and development in the planting site (Atzmon *et al.*, 1994; Haase, 2006).

When analyzing the data as separate effects it turned out that both types of container influence plant biomass; in the 1.5 L, the best averages were recorded in the evaluated variables. It seems that 500 mL made no difference for the biomass production between different container sizes (Table 8).



Cuadro 8. Valores medios de las variables de biomasa de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. después del injerto a los 10 meses del trasplante.Table 8. Mean values of the biomass variables after grafting in *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants, 10 months after transplantation.

Fuente de variación	Variables						
	Psta (g)	Psfo (g)	Psrp (g)	Psrs (g)	Psto (g)	Rpar	Fibro
Testigo	1.06 a	3.22 a	13.28 a	1.10 a	18.75 a	0.314 a	0.125 a
Contenedores	0.339 b	1.32 b	3.85 b	1.19 a	6.58 b	0.332 a	0.274 a
Factor Contenedor							
1.5 L	0.354 a	1.38 a	3.96 a	1.35 a	7.05 a	0.342 a	0.335 a
2.0 L	0.324 a	1.16 a	3.75 a	0.86 b	6.10 a	0.322 a	0.214 a
Factor Sustrato							
S1	0.400 a	1.69 a	4.72 a	1.64 a	8.45 a	0.334 a	0.316 a
S2	0.340 a	1.19 a	3.78 a	1.48 ab	6.79 a	0.321 a	0.425 a
S3	0.250 a	0.96 a	3.27 a	0.83 b	5.30 a	0.291 a	0.218 a
S4	0.270 a	1.04 a	3.64 a	0.76 b	5.71 a	0.285 a	0.205 a
S5	0.435 a	1.49 a	3.88 a	0.84 b	6.64 a	0.427 a	0.207 a

Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

Psta = Peso seco total; Rpar = Relación parte aérea raíz; Fibro = Fibrosidad (Psrs/ Psrp). S1 = 50 % turba, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S2 = 50 % fibra de coco, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S3 = 75 % cachaza, 25 % cascarilla de café; S4 = 50 % cachaza, 50 % cascarilla de café; S5 = 25 % cachaza, 75 % cascarilla de café.

Different letters in the same column are significantly different (Tukey $\alpha = 0.05$).

Psta = Dry weight of the stem; Psfo = Dry weight of foliage; Psrp = Dry weight of the taproot; Psrs = Dry weight of the secondary roots; Psto = Total dry weight; Rpar = Root aerial part ratio (Psta + Psfo / Psrp + Psrs); Fibro = Fibrousness (Psrs / Psrp). S1 = 50 % peat moss + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S2 = 50 % coconut fiber + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S3 = 75 % cachaza + 25 % coffee husk; S4 = 50 % cachaza + 50 % coffee husk; S5 = 25 % cachaza + 75 % coffee husk.

Cuadro 9. Valores de significancia ($p < 0.05$) de las variables de arquitectura de raíz de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., antes y después del injerto a los seis y 10 meses del trasplante.Table 9. Significance values ($p < 0.05$) of the root architecture variables of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants before and after the graft, six and 10 months after transplantation.

Fuente de variación		Lonrp	Diarp	Nrad	Lonrad	Nrsrd	Nrpri	Lrpri	Nrspri
Antes del injerto	Tratamiento	0.0001	0.0006	0.4587	0.0127	0.9312	0.0022	0.0001	0.4242
	Todos vs. Testigo	0.0001	0.0001	0.9830	0.0001	0.9140	0.0177	0.0001	0.4871
	Contenedor	0.0001	0.6648	0.5854	0.6823	0.9209	0.8890	0.7664	0.7338
	Sustrato	0.1639	0.0741	0.2077	0.8637	0.5897	0.0013	0.4363	0.2209
	Contenedor*Sustrato	0.9999	0.3101	0.6430	0.9068	0.8656	0.1565	0.3682	0.5301
Después del injerto	Tratamiento	0.0001	0.0942	0.1603	0.1050	0.0660	0.0001	0.0001	0.0595
	Todos vs. Testigo	0.0001	0.0002	0.4029	0.2598	0.0296	0.0098	0.0001	0.9084
	Contenedor	0.0569	0.4852	0.7995	0.9473	0.2355	0.8479	0.5902	0.0001
	Sustrato	0.4553	0.1866	0.0733	0.0410	0.2480	0.0001	0.2912	0.1596
	Contenedor*Sustrato	0.4686	0.0689	0.2915	0.2913	0.2544	0.1569	0.0978	0.4053

Lonrp = Longitud de la raíz pivotante; Diarp = Diámetro de la raíz pivotante; Nrad = Número de raíces adventicias; Lonrad = Longitud de las raíces adventicias; Nrsrd = Número de raíces secundarias en las raíces adventicias; Nrpri = Número de raíces primarias; Lrpri = Longitud de raíces primarias; Nrspri = Número de raíces secundarias en las primarias.

Lonrp = Taproot length; Diarp = Taproot diameter; Nrad = Number of adventitious roots; Lonrad = Length of the adventitious roots; Nrsrd = Number of secondary roots in the adventitious roots; Nrpri = Number of primary roots; Lrpri = Length of primary roots; Nrspri = Number of secondary roots in the primaries.

La comparación de medias a los seis meses, el testigo registró los mayores valores para Lonrp, Diarp, Lonrad y Lrpri, con 36.5, 23, 62 y 38.5 % respectivamente, cuando se le contrastó con los tratamientos en contenedor, pero en el Nrpri las cifras más altas se lograron en los envases con 22 % más que el testigo (Cuadro 10).

El análisis de los resultados anteriores, como efectos independientes antes del injerto evidenció diferencias significativas entre tamaños de contenedor, y en el de 2 L se obtuvo una diferencia de 19.6 % en la Lonrp, lo que superó al de 1.5 L (Cuadro 10). Aunque, en promedio, la longitud de la raíz pivotante en el contenedor de mayor capacidad fue 6.1 cm más grande que en el de menor tamaño, las otras variables que forman la arquitectura de raíz no se determinaron significancias estadísticas, por lo que la profundidad del contenedor no en incidió un mayor crecimiento en las raíces de primer y segundo orden a los seis meses después del trasplante.

En relación con los sustratos, a los seis meses el efecto de las mezclas solo se observó en Nrpri, las cuales fueron 29.5 % más abundantes en el S1 en comparación con el menor valor obtenido en la fibra de coco con vermiculita y agrolita (S2) (Cuadro 10).

With the kind of substrate a trend is not confirmed, but it is noted that mixtures of the substrates S1 and S2 positively influenced the Psrs.

Root architecture

Before the graft, six months after transplantation, significant differences ($p < 0.05$) in root architecture in all treatments with the control under the Lonrp, Diarp, Lonrad, Nrpri and Lrpri variables were present. In the independent effects, statistical significance was confirmed in Lonrp, Diarp and Nrpri, but not in the container -substrate interaction (Table 9).

At 10 months after transplantation, the significant differences between the treatments were in the Lonrp, Nrpri, Lrpri and Nrsrd variables. When facing the witness to all treatments, they were in Lonrp, Diarp, Nrsrd, Nrpri and Lrpri. The effect of independent factors influenced Lonrp, Nrsrd, Lonrad and Nrpri (Table 9).

When comparing the means at six months, the witness recorded the highest values for Lonrp, Diarp, Lonrad and Lrpri, with 36.5, 23, 62 and 38.5 % respectively, when it was compared with the treatments in the container, but in the Nrpri

Cuadro 10. Valores medios de la arquitectura de raíz de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., antes del injerto a los seis meses después del trasplante.

Table 10. Mean values of root architecture of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg plants before the graft six months after transplantation.

Fuente de variación	Variables							
	Lonrp (cm)	Diarp (mm)	Nrad (no.)	Lonrad (cm)	Nrsrd (no.)	Nrpri (no.)	Lrpri (cm)	Nrspri (no.)
Testigo	44.20 a	14.26 a	5.40 a	24.87 a	6.01 a	19.50 b	15.22 a	5.51 a
Contenedores	28.05 b	10.97 b	5.38 a	9.39 b	5.83 a	24.98 a	9.35 b	6.22 a
Factor Contenedor								
1.5 L	25.01 b	10.71 a	5.06 a	9.07 a	5.75 a	25.22 a	9.21 a	6.50 a
2.0 L	31.10 a	11.03 a	5.7 a	9.72 a	5.92 a	24.74 a	9.50 a	5.96 a
Factor Sustrato								
S1	29.65 a	11.56 a	5.95 a	10.78 a	6.39 a	30.15 a	9.58 a	5.31 a
S2	27.35 a	9.97 a	5.45 a	8.86 a	5.65 a	21.25 b	8.39 a	5.33 a
S3	28.17 a	10.51 a	5.35 a	8.78 a	5.39 a	22.50 b	9.56 a	6.81 a
S4	27.62 a	11.46 a	6.06 a	10.53 a	7.10 a	26.30 ab	9.76 a	6.59 a
S5	27.48 a	10.86 a	4.10 a	8.05 a	4.65 a	24.70 ab	9.50 a	7.10 a

Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

Lonrp = Longitud de la raíz pivotante; Diarp = Diámetro de la raíz pivotante; Nrad = Número de raíces adventicias; Lonrad = Longitud de las raíces adventicias; Nrsrd = Número de raíces secundarias en las raíces adventicias; Nrpri = Número de raíces primarias; Lrpri = Longitud de raíces primarias; Nrspri = Número de raíces secundarias en las primarias. S1 = 50 % turba, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S2 = 50 % fibra de coco, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S3 = 75 % cachaza, 25 % cascarilla de café; S4 = 50 % cachaza, 50 % cascarilla de café; S5 = 25 % cachaza, 75 % cascarilla de café.

Different letters in the same column are significantly different (Tukey $\alpha = 0.05$).

Lonrp = Taproot length; Diarp = Taproot diameter; Nrad = Number of adventitious roots; Lonrad = Length of the adventitious roots; Nrsrd = Number of secondary roots in the adventitious roots; Nrpri = Number of primary roots; Lrpri = Length of primary roots; Nrspri = Number of secondary roots in the primaries. S1 = 50 % peat moss + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S2 = 50 % coconut fiber + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S3 = 75 % cachaza + 25 % coffee husk; S4 = 50 % cachaza + 50 % coffee husk; S5 = 25 % cachaza + 75 % coffee husk.

Durante este periodo (10 meses Del trasplante) se identificaron resultados similares que a los seis meses, con una diferencia superior en el testigo, con respecto a los tratamientos en contenedor con 24 % en Lonrp, 25 % en Diarp y 43 % en Lrpri. La respuesta inversa correspondió en Nrpri, en la que el valor más alto se tuvo para los tratamientos en contenedor, con una diferencia de 37 % más que la obtenida en el testigo (Cuadro 11).

Si la arquitectura de raíz se refiere a la configuración espacial del sistema radicular (Lynch, 1995), entonces está determinada, principalmente, por el crecimiento de las nuevas estructuras; en este sentido, el que tuvo lugar en contenedor favoreció la abundancia de las de primer orden, a pesar de que la bolsa fue de mayor profundidad y volumen que los envases, no promovió una mejor arquitectura del sistema radicular. Al respecto, Chirino *et al.* (2008) al evaluar el efecto de la profundidad del contenedor en la morfología y crecimiento del sistema de raíz de *Quercus suber* L. concluyeron que el contenedor profundo además de propiciar el crecimiento de la raíz pivotante promovió un alto número de raíces nuevas y mayor biomasa de las mismas.

Entre los tamaños de contenedor, a los 10 meses, la longitud de la raíz pivotante fue 13 % mayor en el de 2 L, pero el número de raíces de segundo orden (Nrspri) fue 22 % superior en el de menor volumen (1.5 L). Lo anterior indica que las raíces de las plantas en el de 2 L tardaron más tiempo en llegar al fondo, por lo que la energía se canalizó hacia el crecimiento de la raíz pivotante, mientras que en las plantas del contenedor chico la energía se encauzó hacia la formación de nuevas raíces, ya que la pivotante llegó más rápido al fondo del envase, por lo que se puede establecer que el contenedor de 1.5 L promueve una mayor producción de raíces nuevas que repercuten en una planta más equilibrada y con mejor conformación del cepellón.

Las otras variables no presentaron diferencias entre tamaños de contenedor (Cuadro 11). Existe una marcada diferencia en el crecimiento y número de raíces laterales entre las plantas que se cultivan en contenedor o en bolsa, como lo comprobaron Soman y Saraswathyamma, (1999) al calcular en 80 % de mayor abundancia de raíces en los del primer tipo, que en las producidas en bolsa, así como la longitud y el diámetro promedio.

Referente al factor sustrato, a los 10 meses las raíces adventicias fueron 46 % más largas en el sustrato con turba (S1) con respecto al S5, que tuvo el promedio más bajo (2.50 cm); de igual manera, las raíces primarias (Nrpri) fueron 51 % más abundantes (45.55 raíces) en S1 en comparación con las Nrpri obtenidas con las mezcla de cachaza al 75 % (S3); las otras variables no se observaron diferencias significativas (Cuadro 11). Una característica primordial para el desarrollo de las plantas en

the highest figures were achieved in containers with 22 % more than the control (Table 10).

The analysis of the former data, as independent effects before grafting, showed significant differences between container sizes, and the 2 L a difference of 19.6 % in the Lonrp was obtained, exceeding the 1.5 L (Table 10). Although, on average, the length of the taproot in the container of greater capacity was 6.1 cm larger than the smallest, in the other variables that do not shape the root architecture, statistical significances were not determined, so that the depth of the container did not influenced further growth in the roots of first and second order, six months after transplantation.

Regarding substrates, at six months the effect of the mixtures was observed only in Nrpri, which were 29.5 % more abundant in the S1 compared to the value lower obtained in the coconut fiber and agrolite + vermiculite (S2) (Table 10).

During this period (10 months after transplantation) similar results were identified such as those at six months, with a higher difference in the control, with respect to the treatments in container with 24 % in Lonrp, 25 % in Diarp and 43 % in Lrpri. The inverse response corresponded to Nrpri, in which the highest value was taken for treatment in container, with a difference of 37 % more than that obtained in the control (Table 11).

If root architecture refers to the spatial configuration of the root system (Lynch, 1995), then it is determined mainly by the growth of new structures; in this regard, which took place in the container, favored the abundance of those of first order, even though the bag was deeper and with a larger volume than containers, it did not promote a better architecture of the root system. In this regard, Chirino *et al.* (2008) when assessing the effect of the depth of the container on the morphology and growth of the root system of *Quercus suber* L., concluded that the deep container in addition to promote the growth of the taproot stimulated a large number of new roots and higher biomass of them.

Between the container sizes, at 10 months, the length of the taproot was 13 % higher in the 2 L, but the number of roots of second order (Nrspri) was 22 % higher in the smaller volume (1.5 L). This suggests that the roots of the plants in the 2 L took longer to get to the bottom, so that energy is channeled towards the growth of the taproot, while in the plants in the small container, energy was channeled towards the formation of new roots, as the pivot came faster at the bottom of the container, thus suggesting that the container of 1.5 L promotes increased production of new roots that impact on a more balanced plant and better shaping of the root ball.

vivero es el sistema radical, del cual depende la supervivencia y adaptación en campo (Ruano, 2002). El sustrato compuesto por turba solo fue mejor en dos de las variables que conforman la arquitectura de raíz (Lonrad y Nrpri), lo que hace suponer que las plantas desarrolladas en los otros sustratos son semejantes en su crecimiento de esta estructura.

The other variables did not differ between container sizes (Table 11). There is a marked difference in growth and number of lateral roots from plants grown in container or bag, as tested by Soman and Saraswathyamma (1999) when they calculated 80 % more roots abundance of the first type, in those produced in bag as well as the average length and diameter.

Cuadro 11. Valores medios de la arquitectura de raíz de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., después del injerto a los 10 meses del trasplante.

Table 11. Mean values of root architecture of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg plants before the graft 10 months after transplantation.

Fuente de variación	Variables							
	Lonrp (cm)	Diarp (mm)	Nrad (no.)	Lonrad (cm)	Nrsrd (no.)	Nrpri (no.)	Lrpri (cm)	Nrspri (no.)
Testigo	36.39 a	16.18 a	3.00 a	9.47 a	1.40 a	21.00 b	15.35 a	3.34 a
Contenedores	27.65 b	12.07 b	3.69 a	7.38 a	3.56 a	33.51 a	8.80 b	3.28 a
Factor contenedor								
1.5 L	25.58 b	11.72 a	3.82 a	7.44 a	4.09 a	34.36 a	9.14 a	3.69 a
2.0 L	29.53 a	12.61 a	3.56 a	7.33 a	3.05 a	35.66 a	8.46 a	2.88 b
Factor Sustrato								
S1	27.87 a	12.26 a	4.55 a	10.85 a	4.75 a	45.55 a	9.82 a	3.94 a
S2	28.24 a	11.81 a	3.70 a	7.57 ab	2.95 a	43.15 ab	9.18 a	3.11 a
S3	25.83 a	13.46 a	3.30 a	6.29 ab	3.94 a	22.45 c	8.38 a	2.88 a
S4	27.76 a	11.70 a	4.40 a	6.41 ab	3.21 a	22.85 c	8.05 a	3.29 a
S5	28.08 a	11.59 a	2.50 a	5.81 b	3.0 a	33.55 bc	5.58 a	3.21 a

Letras distintas en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey $\alpha=0.05$).

Lonrp = Longitud de la raíz pivotante; Diarp = Diámetro de la raíz pivotante; Nrad = Número de raíces adventicias; Lonrad = Longitud de las raíces adventicias; Nrsrd = Número de raíces secundarias en las raíces adventicias; Nrpri = Número de raíces primarias; Lrpri = Longitud de raíces primarias; Nrspri = Número de raíces secundarias en las primarias. S1 = 50 % turba, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S2 = 50 % fibra de coco, 30 % vermiculita, 20 % agrolita; S3 = 75 % cachaza, 25 % cascarilla de café; S4 = 50 % cachaza, 50 % cascarilla de café; S5 = 25 % cachaza, 75 % cascarilla de café.

Different letters in the same column are significantly different (Tukey $\alpha = 0.05$).

Lonrp = Taproot length; Diarp = Taproot diameter; Nrad = Number of adventitious roots; Lonrad = Length of the adventitious roots; Nrsrd = Number of secondary roots in the adventitious roots; Nrpri = Number of primary roots; Lrpri = Length of primary roots; Nrspri = Number of secondary roots in the primaries. S1 = 50 % peat moss + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S2 = 50 % coconut fiber + 30 % vermiculite + 20 % agrolite; S3 = 75 % cachaza + 25 % coffee husk; S4 = 50 % cachaza + 50 % coffee husk; S5 = 25 % cachaza + 75 % coffee husk.

Conclusiones

Las plantas producidas en el sistema tradicional (bolsa y tierra) resultaron de mayor tamaño, pero con menor equilibrio entre la parte aérea y la radical. Las de contenedor fueron de menor porte aunque con una mejor proporción en su crecimiento, que se refleja en la producción de raíces de primer y segundo orden, y en general, en una mejor arquitectura de la planta.

Los resultados muestran que es posible el uso de sustratos y contenedores en la producción de plantas de *Hevea brasiliensis* en vivero, que sustituyan la tierra y la bolsa de polietileno. La mezcla formada por 50 % de turba, 30 % de vermiculita y 20 % de agrolita, presentó resultados favorables, seguida de la

Concerning the substrate factor, at 10 months the adventitious roots were 46 % longer in the peat substrate (S1) to the S5, which had the lowest average (2.50 cm); similarly, the primary roots (Nrpri) were 51 % more abundant (45.55 roots) in S1 compared to Nrpri obtained with the mixture of 75 % cachaza (S3); in the other variables no significant differences (Table 11) were observed. A central feature in the development of plants in nursery is the root system, from which depends the survival and adaptation in the field (Ruano, 2002). The substrate was composed of peat moss was only better in two of the variables that constitute root architecture (Lonrad and Nrpri), which suggests that the plants developed in the other substrates are similar in growth of this structure.

fibra de coco y posteriormente las compuestas por compostas. En todos los casos los resultados son alentadores para la producción de plantas en combinación con los contenedores de 1.5 o 2 L de capacidad; al final del ciclo, el envase de menor capacidad promueve el mejor desarrollo de raíces de segundo orden.

La introducción de los contenedores y sustratos para la producción intensiva de plantas de *Hevea brasiliensis* requerirá de cambios radicales en los viveros, pero tiene mayores ventajas sobre la producción en bolsa ya que provee una mejor calidad de las plantas incluyendo un mejor sistema radical, además de reducir los tiempos de producción y espacio para grandes cantidades de planta. 🌱

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Olga Santiago Trinidad: revisión de literatura, análisis estadístico, elaboración y corrección del documento; José de Jesús Vargas Hernández: análisis estadístico, análisis de resultados y revisión del documento; Arnulfo Aldrete: revisión y corrección del documento; Javier López Upton: revisión del documento, Aurelio Manuel Fierros González: revisión del documento.

Agradecimientos

La primera autora desea hacer patente su agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por haber otorgado las facilidades que hicieron posible cursar sus estudios de Doctorado, a partir de los cuales generó el presente documento. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haber financiado dichos estudios y al Colegio de Postgraduados por la oportunidad de integrarse a su programa de formación académica.

Referencias

- Atzmon, N., E. Solomon, O. Reuveni and J. Riv. 1994. Lateral root formation in pine seedlings. *Trees* 8: 268-277.
- Comité Nacional Sistema Producto Hule (CNSPH). 2009. Actas de la sesión XXXVII. Tuxtepec, Oax., México. 25 p.
- Chirino M., E., A. Vilagrosa C., E. I. Hernández., A. Matos and V. R. Vallejo. 2008. Effects of a deep container on morpho-functional characteristics and root colonization in *Quercus suber* L. seedlings for reforestation in Mediterranean climate. *Forest Ecology and Management* 256: 779-785.
- Domínguez L., S., N. Herrero S., I. Carrasco M., L. Ocaña B., J. L. Peñuelas R. and J. G. Mexal. 2006. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management* 221: 63-71.
- Fernández M., S., Y. Cruz P., J. L. Rodríguez S. y T. Lambert G. 2012. Influencia de sustratos orgánicos en la producción de *Manilkara sapota* (L.) Van Royen, en vivero con contenedores en el municipio de Jiguaní de la provincia de Granma. *Revista Granma Ciencia* 16 (3).
- Haase, D. L. 2006. Morphological and physiological evaluations of seedling quality. In: Riley, L. E., R. K. Dumroese and T. D. Landis (coords). 2007. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2006. RMRS-P-50. USDA, Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, CO, USA. pp: 3-8.

Conclusions

Plants produced in the traditional system (bag and ground) were larger, but with less balance between shoot and root. Those from containers had smaller size but with a better growth ratio, which is reflected in the production of roots of first and second order, and in general, in a better plant architecture.

Results show that it is possible to use substrates and containers in the production of *Hevea brasiliensis* plants at the nursery, which replace the ground and the polyethylene bag. The mixture of 50 % peat moss + 30 % vermiculite + 20 % agrolite showed favorable ciphers, followed by coconut fiber composite and subsequently by compost. In all cases the numbers are encouraging for the production of plants in combination with containers of 1.5 or 2 L capacity; at the end of the cycle, the container of smaller capacity promotes better development of second order roots.

The introduction of containers and substrates for intensive production of *Hevea brasiliensis* plants requires radical changes in nurseries, but has major advantages over production in bag and provides a better quality of plants including a better root system, and reduces production time and space for large amounts of plant. 🌱

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Olga Santiago Trinidad: review of literature, statistical analysis, writing and correction of the manuscript; José de Jesús Vargas Hernández statistical analysis of results and review of the document; Arnulfo Aldrete: review and correction of the manuscript; Javier López Upton: review of the document; Aurelio Manuel Fierros González: review of the document.

Acknowledgements

The first author wishes to express its appreciation to the *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* for giving the facilities that made it possible to pursue her PhD, from which the actual document was generated. To the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* for funding these studies and to the *Colegio de Postgraduados* for the opportunity to perform this program of education.

End of the English version



- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2008. Potencial productivo del hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) de temporal. <http://www.agromapas.inifap.gob.mx/potencialproductivo/imagenes/mapas/hule-temporal.jpg> (11 de febrero de 2014).
- Lindström, A. and G. Rune. 1999. Root deformation in plantations of container-grown Scot pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness. *Plant and Soil* 217:29-37.
- Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology* 109: 7-13.
- Mooibroek, H. and K. Cornish. 2000. Alternative sources of natural rubber. *Applied Microbiology and Biotechnology* 53:355-365.
- Navarro, R. M., A. D. del Campo y J. Cortina 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. In: Cortina, J., J. L. Peñuelas, J. Puértolas, A. Vilagrosa y R. Savé. (coords). *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes Mediterráneos*. Estado Actual de Conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. Cap. 2. pp: 31-46.
- Oliet, J. 2000. La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba, España. 93 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Dirección de estadística (FAOSTAT). 2012. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (13 de julio de 2014).
- Prieto R, J. A., P. M. Soto G. y J. C. Hernández D. 2007. Efecto del tamaño de envase en el crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Ciencia Forestal en México* 32 (102): 23-38.
- Rodrigues, V. A. e P. N. Costa. 2009. Análise de diferentes de substratos no crescimento de mudas de siringueira. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal* 8(14): 8-17.
- Ruano M., J. R. 2002. *Viveros forestales. Manual de cultivo y proyectos*. Mundi Prensa. Madrid, España. 281 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. *SAS/STAT User's Guide, Software version 9.0*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. n/p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-Sagarpa). 2013. Estadísticas sobre producción nacional de látex. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo> (3 de diciembre de 2013).
- Soman, T. A. and C. K. Saraswathyamma. 1999. Root trainer nursery for *Hevea*. *Indian Journal of Natural Rubber Research* 12: 17-22.
- South, B. D., S. W. Harris., J. P. Bennett., M. J. Hains and D. H. Gjerstad. 2005. Effect of container type and seedlings size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, USA. *Forest Ecology and Management* 204: 385-398.
- Valdés R., O. A., C. Muñoz G., A. Pérez V. y L. E. Martínez P. 2014. Análisis y curvas de crecimiento de *Moringa oleifera* Lam. en diferentes sustratos. *Revista Científica Biológico- Agropecuaria Tuxpan*. 2(2): 66-77.





