



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

## RECONVERSIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG. EN VIVERO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES

OLGA SANTIAGO TRINIDAD

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

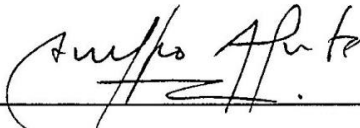
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

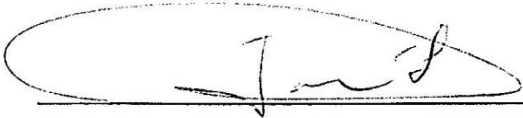
2015

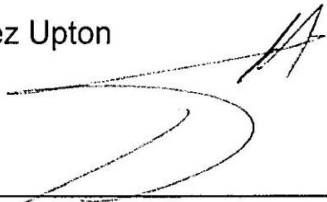
La presente tesis titulada: **RECONVERSIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG. EN VIVERO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES**, realizada por la alumna: **Olga Santiago Trinidad** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado en:


**DOCTORA EN CIENCIAS  
EN CIENCIAS FORESTALES**

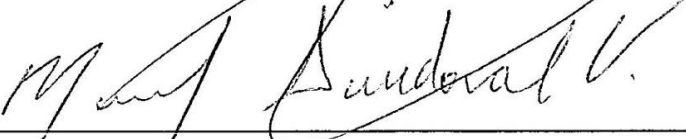
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO   
Dr. Arnulfo Aldrete

ASESOR   
Dr. Javier López Upton

ASESOR   
Dr. Héctor de los Santos Posadas

ASESOR   
Dr. Aurelio Manuel Fierros González

ASESOR   
Dr. Manuel Sandoval Villa

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2015.

# **RECONVERSIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG. EN VIVERO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PLANTACIONES**

Santiago Trinidad Olga, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2015

## **RESUMEN GENERAL**

El sistema de producción en contenedor está compuesto por un conjunto de técnicas encaminadas a la obtención de plantas de calidad, y ésta es determinante para la supervivencia y adaptación al sitio de plantación. Con la finalidad de proponer otra alternativa para la producción de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero, se evaluó el efecto de cinco mezclas de sustratos y dos tamaños de contenedor, en el crecimiento y desempeño en vivero. En el laboratorio se determinaron las características físicas y químicas de las mezclas utilizadas y su posterior efecto en la arquitectura de raíz. En campo se establecieron once tratamientos de sustratos y contenedores donde se evaluó la supervivencia y crecimiento de las plantas. También, se estableció un experimento con dosis y tipos de fertilizantes y se determinó su efecto en el crecimiento de las plantas en vivero. Los valores más altos se presentaron en las mezclas con mayor proporción de turba y de fibra de coco, mientras que los valores en las compostas fueron menores. En la caracterización de las mezclas, las formadas por compostas se distinguieron por presentar valores altos en conductividad eléctrica (CE), retención de humedad, densidad aparente (DA) y menor porosidad y las de mayor proporción de turba y fibra de coco presentaron pH arriba de 6. La DA, el pH, la CE y la Porosidad de humedad, son las variables que están asociadas con las variables de la arquitectura de raíz. La cachaza de caña de azúcar compostada puede utilizarse para la producción de plantas pero el porcentaje en la mezcla debe ser mayor al 50 %. La fibra de coco resultó ser mejor sustrato que la turba para la supervivencia y crecimiento en plantación de las plantas de hule. El tratamiento con fertilizante de liberación controlada en combinación con el foliar presentó los mayores crecimientos en todas las variables. En la altura fue 24 % mayor que en el tratamiento con fertilizante granulado triple 16 (testigo), presentó diámetro 18 % mayor que el testigo y biomasa de tallo y raíces también fue superior. El fertilizante de liberación controlada complementado con la fertilización foliar en sustitución del fertilizante granulado triple 16 puede ser utilizado en la producción de plantas de *H. brasiliensis* en contenedor de 1.5 L en combinación con turba, fibra de coco o compostas de cachaza y cascarilla de café, en sustitución de la tierra y la bolsa de plástico.

Palabras clave: cachaza de caña de azúcar, compostas, contenedor, látex, sustratos.

## RECONVERSION SYSTEM OF PRODUCTION *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG. IN NURSERY FOR THE ESTABLISHMENT OF PLANTATION

Santiago Trinidad Olga, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

### ABSTRACT

The container production system is composed of a set of techniques in order to obtain plants of high quality, and this is crucial for survival and adaptation to the planting site. In order to propose an alternative for the production of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants in the nursery, the effect of five mixtures of substrates and two sizes of container on growth and performance in nursery was evaluated. In the laboratory the physical and chemical characteristics of the mixtures and their subsequent effect on root architecture were determined. Eleven treatments of substrates and containers were evaluated in the field based in survival and growth of plants. Also, an experiment with different doses and types of fertilizer was established and its effect in the growth of plants in nursery was determined. The highest values were found in mixtures with a higher proportion of peat and coir, while values were lower in the compost. Mixtures consisting of composts were characterized by high electrical conductivity (EC), moisture retention, bulk density (BD) and lower porosity, and mixtures with the largest proportion of peat and coir presented pH above 6. The DA, pH, EC and porosity moisture are the variables that are associated with the root architecture variables. The composted cachaza can be used for rubber production but the percentage in the mixture should be less than 75%, coir resulted better than peat for survival and growth of rubber plants in the field. Treatment with controlled-release fertilizer in combination with foliar fertilization showed the highest growth in all the variables, in height was 24% greater than treatment with granular fertilizer triple 16 (control), presented 18% more diameter and also was higher in shoot and root biomass. The controlled-release fertilizer in combination with foliar fertilization can replace granular fertilizer triple 16 and can be used for production of *H. brasiliensis* seedlings in 1.5 L container, in combination with peat, coir or compost of cachaza and whit coffee bean skins, replacing soil and plastic bags.

Keywords: cachaza of sugar cane, compost, container, latex, substrates.

## **Agradecimientos**

Gracias al Pueblo de México, porque con el producto de su trabajo cientos de estudiantes como yo, tenemos la oportunidad de estudiar un postgrado y prepararnos para ser más útiles.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo recibido durante el tiempo de estudios.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por darme la oportunidad de seguirme preparando y por reservarme un lugar para mi regreso.

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) noble institución que año con año abre sus puertas a todos aquellos con deseos de continuar con su formación académica.

A los integrantes de mi Consejo Particular por aceptarme como su alumna, por su revisión objetiva y crítica de este trabajo y por darme la oportunidad de terminar, por su confianza, gracias.

Al Dr. Carlos Monroy R. y a la Ing. Luisa Amador, por su amistad y todo el apoyo a lo largo de este trabajo, sin ustedes esto no habría sido posible.

A los trabajadores del Campo Experimental El Palmar, por su gran apoyo en los trabajos de campo y vivero.

A todos los amigos y compañeros que hicieron grata mi estancia en el colegio

## Dedicatoria

*Ph.D. Miguel Ángel Musálem Santiago<sup>†</sup>*

*Por esas pláticas inconclusas, los consejos tan acertados, las palabras de aliento en el momento preciso y ese café en taza chiquita que tantas veces compartimos en tu estudio lleno de conocimientos y recuerdos, siempre abierto para los amigos, para todos.....Con mucho cariño....*

*A mi mamá (Rosita) con mucho cariño y gratitud por tu apoyo y palabras de aliento. Gracias por el... "sí puedes".*

*Con cariño a mis hermanos: Gerardo, Miguel, Cesar y sí, a tí también Eloy donde quiera que te encuentres y cualquiera que se tu andar en esta vida.*

*A mi cuñada Ely y sobrinos Gery, Lalís, Monse, Jhony y Miguel, que han hecho mi estancia en esta vida más agradable, los quiero mucho....*

## CONTENIDO

RESUMEN GENERAL .....	ii
ABSTRACT .....	iii
LISTA DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xii
CAPÍTULO I .....	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DEL HULE ( <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg.) .	3
1.2.1. Descripción de la especie.....	3
1.2.2. Importancia del cultivo .....	3
1.2.3. Situación nacional del cultivo.....	4
1.2.4. Producción y rendimiento .....	5
1.2.5. Producción de planta.....	7
1.3. LITERATURA CITADA.....	10
CAPÍTULO II .....	12
SUSTRATOS Y TAMAÑOS DE CONTENEDOR EN EL DESARROLLO DE <i>Hevea brasiliensis</i> MÜLL. ARG. ....	12
RESUMEN.....	12
ABSTRACT .....	13
2.1. INTRODUCCIÓN .....	14
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	15
2.2.1. Localización y condiciones del experimento.....	15
2.2.2. Diseño experimental y tratamientos .....	16
2.2.3. Variables evaluadas .....	17
2.2.4. Análisis estadístico .....	18
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
2.3.1. Crecimiento en altura y diámetro.....	19
2.3.2. Producción de biomasa .....	24
2.3.3. Arquitectura de raíz .....	29

2.4. CONCLUSIONES .....	35
2.5. LITERATURA CITADA.....	36
CAPÍTULO III .....	39
LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS INFLUYEN EN LA ARQUITECTURA DE RAÍZ DE LAS PLANTAS DE HULE EN CONTENEDOR.....	39
RESUMEN .....	39
ABSTRACT .....	40
3.1. INTRODUCCIÓN.....	41
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.2.1. Localización y condiciones del experimento .....	43
3.2.2. Diseño experimental y tratamientos .....	43
3.2.3. Caracterización de los sustratos .....	44
3.2.4. Variables evaluadas .....	45
3.2.5. Análisis estadístico.....	46
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
3.3.1. Propiedades físicas y químicas de las mezclas .....	46
3.3.2. Arquitectura de raíz.....	53
3.3.3. Arquitectura de raíz y sustratos.....	54
3.4. CONCLUSIONES .....	56
3.5. LITERATURA CITADA .....	58
CAPÍTULO IV.....	61
SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE <i>Hevea brasiliensis</i> MÜLL. ARG. BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS EN PLANTACIÓN.....	61
RESUMEN .....	61
ABSTRACT .....	62
4.1. INTRODUCCIÓN.....	63
4.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	65
4.2.1. Ubicación del experimento .....	65
4.2.2. Establecimiento y diseño experimental .....	65
4.2.3. Variables evaluadas .....	66
4.2.4. Análisis estadístico.....	67



4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	67
4.3.1. Supervivencia.....	67
4.3.2. Crecimiento .....	70
4.3.3. Diámetro.....	73
4.3.4. Tasa relativa de crecimiento .....	76
4.4. CONCLUSIONES .....	80
4.5. LITERATURA CITADA .....	81
CAPÍTULO V.....	83
CRECIMIENTO DE <i>Hevea brasiliensis</i> MÜLL.ARG. EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN EN CONTENEDOR.....	83
RESUMEN .....	83
ABSTRACT .....	84
5.1. INTRODUCCIÓN.....	85
5.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	86
5.2.1. Ubicación del experimento .....	86
5.2.2. Material biológico .....	86
5.2.3. Diseño experimental y tratamientos .....	87
5.2.4. Variables evaluadas .....	88
5.2.5. Análisis estadístico.....	89
5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	89
5.3.1. Concentración de nutrientes .....	94
5.4. CONCLUSIONES.....	100
5.5. LITERATURA CITADA .....	101
CAPÍTULO VI.....	104
CONCLUSIONES GENERALES.....	104

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Producción y precio del hule natural en los estados productores en el 2013 .....	5
Cuadro 2.1. Valores de significancia (p) de las variables de crecimiento en plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. antes del injerto, a los seis meses después del trasplante. ....	19
Cuadro 2.2. Valores de significancia (p) de las variables de crecimiento en plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. 10 meses después del trasplante.....	20
Cuadro 2.3. Valores medios de variables de crecimiento antes del injerto en plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. seis meses después del trasplante .....	22
Cuadro 2.4. Valores medios de las variables de crecimiento después del injerto en plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. 10 meses después del trasplante .....	23
Cuadro 2.5. Valores de significancia ( $p < 0.05$ ) de las variables de biomasa de plantas <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. antes y después del injerto a los seis y 10 meses del trasplante. ....	24
Cuadro 2.6. Valores medios de las variables de biomasa de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. antes del injerto a los seis meses del trasplante. ....	26
Cuadro 2.7. Valores medios de las variables de biomasa de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. después del injerto a los 10 meses del trasplante. ....	28
Cuadro 2.8. Valores de significancia ( $p < 0.05$ ) de las variables de arquitectura de raíz de plantas <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. a los seis y 10 meses del trasplante. ....	30
Cuadro 2.9. Valores medios de la arquitectura de raíz de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. antes del injerto a los seis meses después del trasplante. ....	32
Cuadro 2.10. Valores medios de la arquitectura de raíz de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. después del injerto a los 10 meses después del trasplante. ....	34
Cuadro 3.1. Valores promedio de diferentes características físicas evaluadas en las mezclas de sustratos al inicio del experimento. ....	48
Cuadro 3.2. Componentes de la curva de liberación de agua de diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> . ....	49

Cuadro 3.3. Características químicas de las mezclas de los sustratos al inicio del experimento. ....	53
Cuadro 3.4. Valores promedio de las variables de arquitectura de raíz en plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. de 11 meses de edad en diferentes mezclas de sustratos. ....	54
Cuadro 3.5. Significancia de las variables canónicas .....	55
Cuadro 3.6. Coeficientes canónicos estandarizados de las variables canónicas V y U	56
Cuadro 4.1. Descripción de los tratamientos establecidos en campo de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. producidas en diferentes sustratos y tamaños de contenedor. ....	66
Cuadro 4.2. Significancia de la supervivencia en plantación ( $p > 0.05$ ) de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. ....	68
Cuadro 4.3. Análisis de varianza de las variables de crecimiento de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. producidas bajo diferentes mezclas de sustratos y tipos de envase.....	70
Cuadro 4.4. Comparación de medias entre 11 tratamientos de producción de planta en diferentes tamaños de envase y sustratos en ocho muestreos para la altura total de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. en plantación.....	72
Cuadro 4.5. Comparación de medias entre 11 tratamientos de diferentes tipos de envase y combinaciones de sustratos en ocho muestreos para el diámetro de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. en plantación. ....	75
Cuadro 4.6. Análisis de varianza de las variables de crecimiento a los 17 meses después de la plantación.....	77
Cuadro 5.1. Tratamientos de fertilización evaluados en la producción de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. en contenedor.....	87
Cuadro 5.2. Análisis de varianza para las variables de crecimiento de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. de 10 meses en vivero producidas bajo diferentes regímenes de fertilización. ....	90
Cuadro 5.3. Valores medios a siete meses después del trasplante de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. creciendo en vivero bajo diferentes regímenes de fertilización ..	92

Cuadro 5.4. Valores medios a 10 meses después del trasplante de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. creciendo en vivero bajo diferentes regímenes de fertilización. .	94
Cuadro 5.5. Valores medios del contenido de nutrientes en hojas de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. en doce tratamientos de fertilización, a los siete y 10 meses después del trasplante creciendo en vivero. ....	96
Cuadro 5.6. Análisis de varianza y contrastes de los contenidos de nutrientes en el follaje de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll. Arg. creciendo en vivero bajo diferentes regímenes de fertilización. ....	97

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Superficie plantada y cosechada de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. en México. .....	6
Figura 1.2. Producción, rendimiento e importaciones de hule natural ( <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg.) de México.....	7
Figura 1.3. Producción de planta en México de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. en el ciclo 2012-2013.....	9
Figura 1.4. Producción de planta por municipio en ciclo 2013-2014.....	9
Figura 3.1. Porcentaje en volumen de los diferentes tamaños de partícula para cada mezcla de sustrato.....	50
Figura 3.2. Curva de retención de humedad en cinco mezclas de sustratos para la producción de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. ....	51
Figura 4.1. Porcentajes de supervivencia de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. en plantación bajo diferentes mezclas de sustratos y tamaños de envase .....	69
Figura 4.2. Crecimiento en altura de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. establecidas en campo bajo 11 tratamientos de diferentes tipos de envase y combinaciones de sustratos.....	73
Figura 4.3. Crecimiento en diámetro de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. establecidas en campo bajo 11 tratamientos.....	76
Figura 4.4. Comparación de medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) en altura a los 17 meses después de establecidas las plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. producidas bajo diferentes tipos de envase y combinaciones de sustratos .....	78
Figura 4.5. Comparación de medias de la tasa de crecimiento relativo (TRC) en diámetro a los 17 meses después de establecidas las plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. producidas bajo diferentes tipos de envase y mezclas de sustratos.....	79
Figura 5.1. Contenido de N y P en hojas de plantas de <i>Hevea brasiliensis</i> Müll.Arg. antes y después del injerto, en dos fechas de evaluación.....	98

Figura 5.2. Valores medios de los contenidos de nutrientes en el follaje de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll.Arg. de 10 meses de edad creciendo bajo diferentes regímenes de fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas con  $p=0.05$ . ..... 99

## CAPÍTULO I

### 1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El árbol del hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) es una angiosperma de donde se obtiene el látex, uno de los polímeros naturales más importantes producidos por las plantas, principal materia prima para la obtención de más de 40,000 productos, incluyendo alrededor de 400 dispositivos médicos (Mooibroek y Cornish, 2000). Además del látex, la demanda por la madera aserrada de esta especie se ha incrementado, por lo que, representa grandes ventajas para el desarrollo socioeconómico de las regiones huleras de México (PRSNH, 2005).

Para el establecimiento de esta especie, México cuenta con alrededor de 350,000 hectáreas con condiciones óptimas (INIFAP, 2008), de éstas solo alrededor de 27,166 están plantadas y se distribuyen en los estados de Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Veracruz; el 80% está en producción y el resto en desarrollo (SIAP, 2013). A pesar de ese potencial, México no es autosuficiente en hule: la producción sólo cubre el 9% del consumo nacional, teniendo que importar anualmente 100,000 toneladas (PRSNH, 2005).

Actualmente la producción de planta de esta especie es por vía vegetativa y se lleva a cabo en viveros de piso o en bolsa, en ambos casos la planta es injertada pero en el primero se hace en plantas que están directamente en el suelo y en el segundo en plantas que se produjeron en bolsa (Compagnon, 1998). Este sistema se realiza desde hace más de 40 años, y se caracteriza por el uso de grandes cantidades de tierra y bolsas de polietileno de gran tamaño, así como formulaciones de fertilización no específicas y la falta de estándares que garanticen la supervivencia y adecuado desarrollo en campo. Además, los altos costos, largos tiempos de producción y en general un manejo deficiente en vivero, son parte de la problemática que forma parte de los eslabones de la cadena productiva del hule (PRSNH, 2005).

El uso de contenedores en los viveros se perfila como una alternativa que mejora el sistema de producción de planta; éste ha evolucionado del tal manera que se ha sustituido la tierra por el uso de sustratos provenientes de diferentes materiales orgánico e inorgánicos, se han cambiado las bolsas de plástico por contenedores

reciclables, se han diseñado formulaciones de fertilizantes para las diferentes etapas de crecimiento de las especies y en general se ha desarrollado tecnología adicional con la finalidad de producir planta de calidad.

La calidad de las plantas es un factor determinante para el comportamiento y desempeño de la plantación en campo, definida por varios autores en términos de una "mayor tasa de supervivencia y crecimiento inicial en un sitio determinado" (Duryea, 1985, Haase, 2007). Estas características están determinadas en gran medida por el manejo que se da en el vivero, factor importante para la obtención de plantas con características morfológicas y fisiológicas acordes a las necesidades del sitio de plantación.

Con la finalidad de proponer alternativas que permitan mejorar la producción de planta de calidad en vivero de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., el objetivo general de este trabajo fue estudiar el comportamiento morfológico y fisiológico del desarrollo de plantas de *H. brasiliensis*, producidas en contenedor en comparación con las producidas en bolsa. Para dar cumplimiento al objetivo planteado, se evaluaron y compararon dos sistemas de producción (bolsa y contenedor) con base en las características morfológicas (patrón de crecimiento, acumulación de biomasa y arquitectura y desarrollo del sistema radical) y fisiológicas (contenido de nutrientes) de las plantas al final del ciclo de crecimiento, así como la evaluación de supervivencia y crecimiento en campo.



## **1.2. GENERALIDADES DEL CULTIVO DEL HULE (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.)**

### **1.2.1. Descripción de la especie**

El hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.), es un árbol originario de la región amazónica, pertenece a la familia Euphorbiaceae y es productora de hule natural por excelencia. El diámetro de los fustes es variable y oscila entre 1 y 3 m, pero se pueden encontrar árboles de hasta 5 m de diámetro en suelos bien drenados. La altura del hule es comúnmente superior a los 25 m, encontrándose árboles de hasta 50 m (Compagnon, 1998). El hule es una planta tropical que presenta un largo periodo pre productivo que va de 6 a 7 años, y con una vida productiva que alcanza de los 30 a 40 años. Si bien prospera en una gran diversidad de ambientes, su desarrollo y rendimiento óptimo se obtiene en sistemas agroecológicos que presenten climas cálidos húmedos y suelos de textura franca con profundidad mayor a un metro, de buen drenaje, con un pH de 4 a 5.9, que es el caso de los Luvisoles y Acrisoles: la temperatura media anual necesaria se encuentra entre los 26 y 28 °C, con una precipitación media anual de 2,000 a 3,500 milímetros (INIFAP, 2008).

### **1.2.2. Importancia del cultivo**

Si bien es cierto que en el sureste de México se encuentran las condiciones ecológicas para el establecimiento de plantaciones de hule, también es cierto que la región concentra las mayores proporciones de población en condiciones de pobreza y pobreza extrema. La media nacional medida en porcentaje de la población con pobreza se ubica en 45.5 % y los estados como Chiapas (74.7 %), Oaxaca (61.9 %), Veracruz (52.6 %) y Tabasco (49.7 %) están por arriba de esa media (CONEVAL, 2012).

Por lo anterior, el Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico húmedo, incorpora el hule como uno de los cultivos prioritarios y estratégicos para mejorar los alarmantes indicadores de desarrollo económico, social y ambiental de dicha región (SAGARPA, 2010). El hule aporta varios beneficios importantes para el desarrollo de la región. En el ámbito social, es un importante generador de empleos ya que requiere de una gran cantidad de mano de obra durante todas las fases del cultivo, desde el establecimiento de los viveros hasta

el establecimiento y mantenimiento de plantaciones. De esta actividad dependen más de 7,000 familias y por cada 2.5 ha de plantación en producción se genera 1 empleo directo. En el ámbito ecológico, a través del cultivo se están recuperando las áreas arboladas que fueron desforestadas por la ganadería y el establecimiento de cultivos. Contribuye a mejorar el ambiente, ya que fija grandes cantidades de carbono, actúa como mejorador de los suelos y filtra grandes cantidades de agua ayudando a la recarga de los mantos freáticos. En el ámbito económico, la rentabilidad del cultivo es alta y segura, toda vez que el consumo nacional e internacional va en aumento, al igual que el precio internacional, además se tiene un déficit comercial en el país que representa el 90% de las necesidades de hule (PRSNH, 2005).

Por sus características físico-químicas aún se considera como un producto insustituible, ya que se requiere para la producción de productos específicos que no pueden ser realizados con ningún otro producto que no sea hule natural, como las llantas de avión, trajes especiales que evitan la radioactividad y el efecto antigravitatorio cuando se realizan los viajes espaciales, entre otros. Para el caso de plantaciones viejas e improductivas se tiene la opción de aprovecharlas como madera, la cual empieza a tener aceptación en el mercado (PRSNH, 2005).

### **1.2.3. Situación nacional del cultivo**

Por su ubicación geográfica México dispone de alrededor de 350,000 ha para el establecimiento de plantaciones de hule (INIFAP, 2008), pero de esas solo se tienen establecidas 27,166 ha (SIAP, 2013), las cuales se ubican en el trópico húmedo, específicamente en el centro y sur de Veracruz con 49 %, al oeste de Tabasco 16 %, noreste de Oaxaca 14 % y Chiapas con 21 % de plantaciones, las cuales están repartida en 42 municipios donde 7,000 productores se dedican a la explotación del hule con un promedio de 4.8 ha de plantación por productor (PRCSPH, 2009).

Si bien, México no se encuentra dentro de los principales países productores de hule, si ocupa el primer lugar en rendimiento con 2.4 ton/ha, seguido por India con 1.83 ton/ha, Tailandia con 1.63 ton/ha y Malasia con 0.89 ton/ha (FAOSTAT, 2014).

A nivel nacional, Veracruz tiene la mayor producción y rendimiento (54 % y 31 %) en comparación con Oaxaca con la menor producción (14 %) y Tabasco (19 %) con el menor rendimiento (Cuadro 1.1).

A decir de los precios a nivel nacional, estos se comportan en forma paralela a los precios del mercado internacional, pero también intervienen factores como triangulación de la compra (compra a países no productores) y calidad del producto. El estado que obtuvo el mejor precio por tonelada de hule fue Tabasco (33 %), seguido por Chiapas (32 %), Oaxaca (19 %) y Veracruz (16 %) (SIAP, 2013). Los estados que menos rendimientos y producción de hule tienen, son los que mejor precio obtienen por su producto, Veracruz tiene los mejores rendimientos, la mayor producción y superficie plantada, pero tiene el menor precio por el hule. De la limpieza del látex recolectado y del tratamiento que reciba en el beneficio dependerá la calidad del producto final y en función de ésta el precio (Cuadro 1.1).

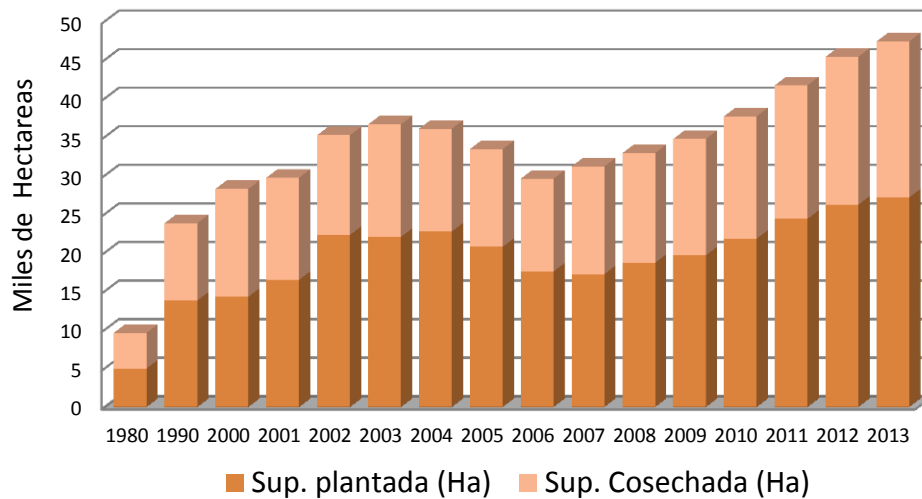
Cuadro 1.1. Producción y precio del hule natural en los estados productores en el 2013

<b>Estado</b>	<b>Producción (Ton)</b>	<b>Rendimiento (Ton/ha)</b>	<b>Precio (\$/Ton)</b>	<b>Valor Producción (Miles \$)</b>
Veracruz	27,651.65	2.96	10,641.10	294,243.97
Tabasco	7,983.24	1.88	22,047.03	176,006.73
Oaxaca	7,033.78	2.66	12,708.59	89,389.43
Chiapas	8,611.96	2.16	21,152.12	182,161.17

Fuente: SIAP (2013).

#### **1.2.4. Producción y rendimiento**

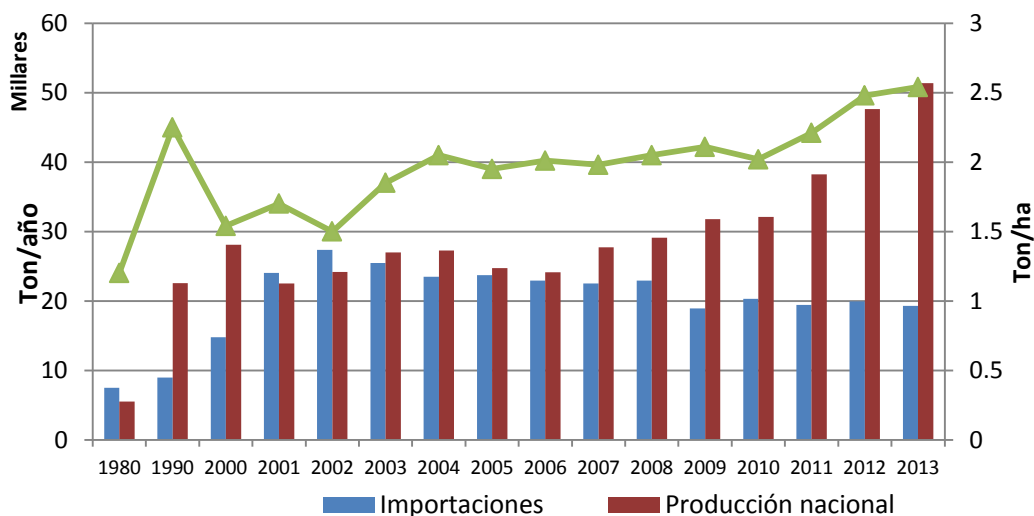
A partir de 1980, la producción de hule en México ha ido creciendo de manera constante, impulsada tanto por la demanda internacional como por una serie de acciones implementadas por el gobierno federal y los estatales. Desde los 80's y hasta la década actual, las plantaciones aumentaron 82 % (de 5,000 a 27, 166 ha en el 2013) y del total de superficie establecida el 74 % (20,226 ha) están en producción (Figura 1.1).



Fuente. SIAP (2013).

Figura 1.1. Superficie plantada y cosechada de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en México.

De acuerdo con las estadísticas reportadas el aumento en el rendimiento del látex ha sido constante, pasó de 1.2 en la década de los 80's a 2.54 ton/ha/año en 2013, es decir un aumento de 53 % (Figura 1.2). El crecimiento de la producción también ha sido constante, toda vez que en 1980 se tuvo una producción de 5,527 ton y aumentó a 51,397 ton obtenidas en 2013, es decir el equivalente a nueve veces más que la producción obtenida en 1980. El caso contrario ocurrió en las importaciones, a medida que la producción fue incrementando, como era de esperarse, las importaciones fueron disminuyendo. En, los años 2002 a 2008 México tuvo importaciones significativas (Figura 1.2) las cuales alcanzaron la máxima de 27,380 toneladas en el 2002, a partir de ese año la disminución ha sido evidente.



Fuente: SIAP, SIAVI, FAOSTAT

Figura 1.2. Producción, rendimiento e importaciones de hule natural (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) de México.

### 1.2.5. Producción de planta

La producción de planta en el cultivo de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. se hace a través de la semilla, una vez que la planta alcanza el tamaño adecuado se realiza el injerto el cual consiste en añadir una yema latente de un árbol deseable sobre una planta patrón de origen mezclado. Este método se usa para reproducir un número de individuos provenientes de un solo árbol, conocido como clon. La principal razón para injertar es el perpetuar clones con características benéficas como lo son la producción, el vigor, la conformación de copa, el grosor de corteza, la resistencia a plagas y enfermedades y la resistencia a daños por viento (PRSNH, 2005). Para el establecimiento de plantaciones las plantas se producen de tres formas:

**Producción en bolsa:** la semilla se siembra en almácigos y después de la germinación se trasplanta a la bola llena de suelo, cuando alcanza la talla adecuada se injerta y cuando el injerto tiene de 2 a 3 ciclos de hojas, la planta está lista para salir a campo.

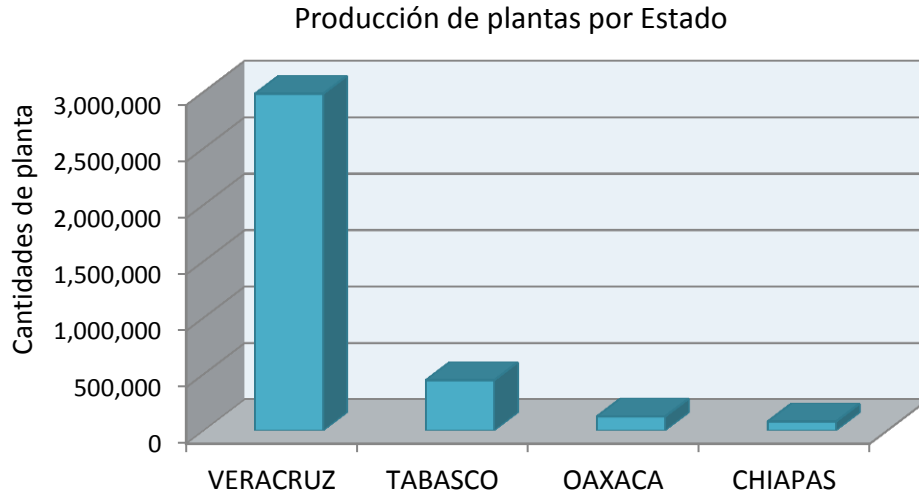
**Producción de tocón a raíz desnuda:** la semilla se siembra en almácigos y después de la germinación se trasplanta al terreno previamente preparado, la planta está lista para

el injerto cuando alcanza más de 1.6 cm de diámetro. Después del injerto cuando las yemas del patrón empiezan a brotar, las plantas son arrancadas manualmente y se les poda las raíces secundarias, el tocón se desinfecta y se le pone enraizador (ácido indolbutírico), los tocones injertados se empacan y se trasladan al sitio de plantación (Ortíz, 2011).

**Producción de tocón en bolsa:** la producción de planta es igual que en la producción de tocones a raíz desnuda, solo que en lugar de trasplantarlos en el terreno se trasplantan a la bolsa y cuando tienen dos ciclos de hojas, se pueden llevar a campo.

A nivel nacional el Estado que más plantas injertadas produce es Veracruz (82 %), seguido por Tabasco (12 %), Oaxaca (4 %) y Chiapas (2 %) (Figura 1.3). La producción total se realiza en 33 viveros, con una capacidad instalada para producir de 5 mil a 750 mil plantas. Tabasco es el estado que tiene los viveros más pequeños (5,000 plantas) comparados con los de Veracruz con la mayor capacidad (750 mil) para la producción de planta. La producción de planta está concentrada en algunos municipios, así en Veracruz la producción se realiza en siete municipios y Tezonapa es donde se concentra la producción, en Tabasco solo en Huimanguillo se produce planta, en Oaxaca se produce en tres municipios pero la mayor parte está en Papaloapan y en Chiapas solo en el municipio de Palenque hay producción de planta (Figura 1.4).

En todos los viveros la producción de plantas es bajo el sistema tradicional (bolsa y/o tocón) y es una práctica que tiene más de 40 años sin modificaciones, lo cual se traduce en plantas de baja calidad que impactan la productividad y rentabilidad de las plantaciones (PRCSPHV, 2009).



Fuente: Aguirre, 2014.

Figura 1.3. Producción de planta en México de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en el ciclo 2012-2013.

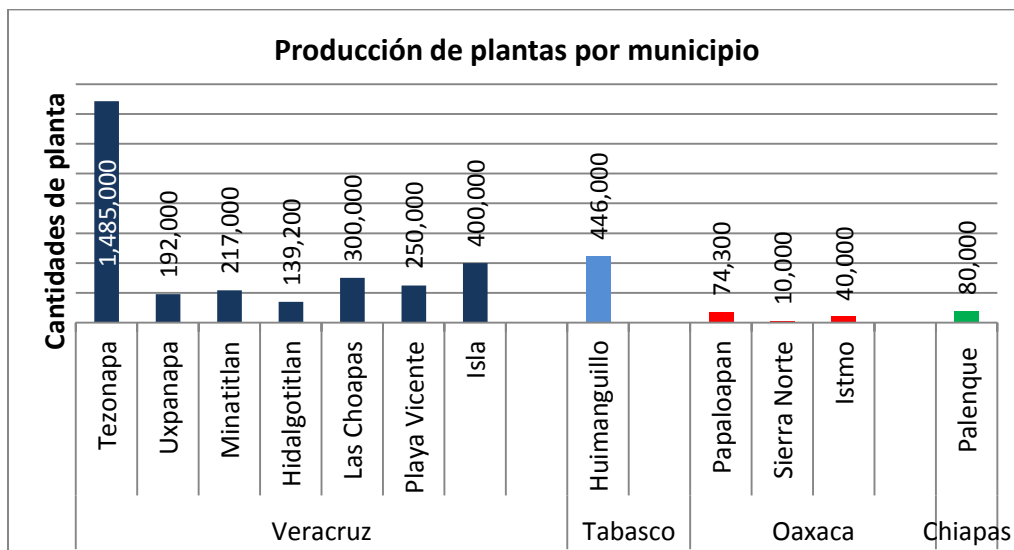


Figura 1.4. Producción de planta por municipio en el ciclo 2013-2014.

### 1.3. LITERATURA CITADA

- Aguirre R., C. 2014. Soporte tecnológico del hule. SAGARPA. Informe interno. No publicado.
- Comité Nacional Sistema Producto Hule (CNSPH). 2009. Actas de la sesión XXXVII. Tuxtepec, Oaxaca. México. 43 p.
- Compagnon, P. 1998. El caucho Natural, biología-cultivo-producción. Consejo Mexicano del hule-CIRAD. México, D.F. 701 p.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2012. <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Pobreza%202012/Pobreza-2012.aspx>. (13 de marzo de 2014).
- Duryea, M. L. (Ed.). 1985. Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon. USA. 141 p.
- 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. <http://www.rngr.net/nurseries/publicatons/proceedings>. (14 de noviembre de 2013).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2008. Potencial productivo del hule (*Hevea brasiliensis* Müll Arg.) de temporal. <http://www.agromapas.inifap.gob.mx/potencialproductivo/imagenes/mapas/hule-temporal.jpg>. (11 de febrero de 2014).
- Mooibroek, H., and K. Cornish. 2000. Alternative sources of natural rubber. Applied Microbiology and Biotechnology 53:355-365.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Dirección de Estadística (FAOSTAT). 2013. <http://faostat3.fao.org/home/S> (13 de julio de 2014).



- Ortiz C., E. 2011. Producción de planta de calidad de hule (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.). Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste de México: Trópico Húmedo 2011. INIFAP- SAGARPA. 78 p.
- Plan Rector Sistema Nacional Hule (PRSNH). 2005. Segunda fase: Diagnóstico inicial, base de referencia y estructura estratégica. Villahermosa, Tabasco. 44 p. <http://www.amsda.com.mx/PRNacionales/Nacionales/PRNHule2.pdf>. (3 de diciembre de 2013).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2010. Proyecto estratégico para el desarrollo rural sustentable de la región sur-sureste de México: Trópico Húmedo. 32 p. [http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/formatos/Tropico\\_Humedo/Mecanismo\\_Tropico\\_humedo\\_2011.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/formatos/Tropico_Humedo/Mecanismo_Tropico_humedo_2011.pdf) (15 de febrero de 2014).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2013. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>. (3 de diciembre de 2013).
- Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2013. <http://www.economia-snci.gob.mx/> (11 de febrero de 2014).

## CAPÍTULO II

### SUSTRATOS Y TAMAÑOS DE CONTENEDOR EN EL DESARROLLO DE *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG.

#### RESUMEN

La producción tradicional de planta de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en bolsa de plástico tiene varios problemas operativos y de calidad de planta. Con la finalidad de generar alternativas de producción del hule en vivero, se evaluó el efecto de diferentes tamaños de contenedor y mezclas de sustrato en los atributos morfológicos, distribución de biomasa y arquitectura de raíz en plantas de *H. brasiliensis* antes y después del injerto. Se evaluaron dos 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 compostados) en diferentes proporciones (3:1, 2:2 y 1:3)], para compararlos con el sistema tradicional (bolsa de plástico de 4 L con tierra del vivero como sustrato). Los resultados indican que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos, asociadas principalmente al factor sustrato en algunas variables morfológicas evaluadas antes del injerto. En las variables de biomasa antes y después del injerto se presentaron diferencias entre tratamientos, asociadas principalmente al factor sustrato. En las variables de arquitectura de raíz las diferencias entre tratamientos se asociaron con los factores contenedor y sustrato. La interacción contenedor-sustrato resultó menos importante que los factores por si solos; el sustrato mostró mayor influencia en el crecimiento de las plantas que el tamaño del contenedor. Estos resultados indican que es posible substituir el sistema tradicional de producción de planta de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en bolsa de plástico por un sistema de producción en contenedores y sustratos.

Palabras clave: cachaza, composta, contenedor, desarrollo radical, *Hevea brasiliensis*, sustrato.

## **SUBSTRATE AND SIZE OF CONTAINER IN DEVELOPMENT OF *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG. IN NURSERY**

### **ABSTRACT**

The traditional seedling production of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. in polybags has several operational problems and quality of seedlings. Looking for new production alternatives for this species in the nursery, the purpose of this paper is to assess the effect of different sizes of container and mixtures of substrate in the morphological attributes, distribution of biomass and root architecture in plants of *H. brasiliensis* before and after grafting. Two container sizes (1.5 and 2.0 L) and five substrate mixtures [peat moss, vermiculite and agrolita (5:3:2), coconut fiber, vermiculite and agrolita (5:3:2), coffee husks and cachaza composted in different proportions (3:1, 2:2 and 1:3)] were evaluated and compared with the traditional system (plastic bag 4 L with land of the nursery as a substrate). Results showed significant differences ( $p < 0.05$ ) between treatments, associated principally with the substrate in some morphological variables evaluated before the graft. In biomass variables before and after the graft there were significant differences between treatments, associated mainly with the substrate. In the root architecture variables differences among treatments were associated with container and substrate factors. Results showed that the interaction container - substrate is less important than the single factors; substrate showed greater influence in seedling growth than the size of the container. These results indicate that it is possible to replace the traditional production system of *Hevea brasiliensis* in polybags for a production system in containers.

Key Words: cachaza of sugar cane, composting, container, *Hevea brasiliensis*, root development, substrate.

## **2.1. INTRODUCCIÓN**

El látex es un producto de gran demanda a nivel mundial, ya que es la materia prima para la elaboración de más de 40 mil productos (Plan Rector Sistema Nacional Hule, 2005). México cuenta con alrededor de 350,000 ha con condiciones óptimas para el establecimiento de plantaciones de hule (INIFAP, 2008), pero hasta 2012 sólo se tenían establecidas 27,165 ha y de éstas, 20,225 ha estaban en producción (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP, 2013). A pesar de este potencial la producción sólo cubre el 9% del consumo nacional, y se importan anualmente 100,000 toneladas. La principal oportunidad de la comercialización de látex es la gran demanda interna, actualmente abastecida casi en un 90% con productos importados y que puede sustituirse en su totalidad por la producción nacional.

Ante esta situación, el Comité Nacional Sistema Producto Hule (CNSPH, 2009) en coordinación con diversas instituciones, ha planteado impulsar el establecimiento de plantaciones huleras en México, para lograr en una primera etapa una superficie de 50,000 ha de plantaciones con la mejor tecnología, por lo que se estima una demanda anual de 12 millones de plantas injertadas producidas en vivero. De acuerdo con el CNSPH, el sistema de producción de planta en vivero no se ha modificado desde hace más de 40 años, y todavía utiliza bolsas de polietileno sin un estándar de calidad. Esta situación ha tenido repercusiones negativas en las plantaciones de hule, ya que la calidad inadecuada de las plantas reduce las posibilidades de establecimiento y productividad en campo; los efectos pueden incluso aparecer varios años después, cuando las plantas mueren por las deformaciones en el sistema radical causadas por la bolsa o bien tener tasas de crecimiento inferiores al potencial de la especie (Lindström y Rune, 1999).

Ante la demanda de grandes cantidades de planta con ciertos estándares de calidad, es trascendental proponer y evaluar otras alternativas de producción que permitan la obtención de plantas con características morfológicas y fisiológicas adecuadas para lograr altos índices de supervivencia y crecimiento en el sitio de plantación. El tamaño del envase y las condiciones del sustrato son los principales factores que influyen sobre

el crecimiento de las plantas en vivero y, en particular, en las características y estructura del sistema radical (South *et al.*, 2005).

El presente trabajo se realizó con la finalidad de proponer una opción de producción de plantas de hule en vivero con características más adecuadas para su establecimiento posterior en campo. El objetivo particular fue evaluar el crecimiento de plantas injertadas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. producidas en dos tamaños de contenedor rígido en combinación con cinco mezclas de sustrato, en comparación con las producidas en el sistema tradicional donde se utiliza bolsa de polietileno y tierra del vivero como sustrato

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1. Localización y condiciones del experimento**

El experimento se estableció en el Campo Experimental “El Palmar” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el municipio de Tezonapa, Ver., localizado en el kilómetro 16 de la carretera municipal Tezonapa-Palmar (18° 31' 13" N y 96° 47' 40" O, 180 m de altitud). La temperatura media anual de la región es de 24°C. En el periodo que va de 2009 a 2014 se registró una precipitación de 11,390 mm, equivalente a 1,898 mm anuales, en la estación invernal se observó una precipitación promedio de 43 mm durante un periodo de cinco años (2009-2013) (INIFAP, 2015).

Para la producción de la planta, la semilla se recolectó de las plantaciones de hule del clon IAN-710 dentro del campo y se almacenó a temperatura ambiente hasta el momento de la siembra. La semilla se germinó en un sustrato compuesto de cachaza y cascarilla de café (30:70 v:v) y se cubrió con malla sombra al 50 % colocada a una altura de 1.5 m. En el momento que apareció la radícula, la semilla se trasplantó a los contenedores para iniciar el ensayo; se colocó una semilla por cavidad a una profundidad no mayor al tamaño de la misma y se cubrió con sustrato.

Dos meses después del trasplante se realizaron aplicaciones semanales de fungicida Mancozeb® en dosis de 2 gL<sup>-1</sup> como preventivo de *Microcyclus ulei* (Henn.) Arx, y en la

época de lluvias se aplicó Benomil® (2 gL<sup>-1</sup>) durante siete meses, como preventivo para los hongos de raíz.

Seis meses después del trasplante se injertaron las plantas; las yemas se obtuvieron de brotes de ocho semanas de edad del clon IAN-710 en el jardín clonal del campo experimental. Se seleccionaron las yemas y se homogeneizó lo más posible el proceso de injertado. A las dos y tres semanas después 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

### **2.2.2. Diseño experimental y tratamientos**

El experimento se estableció con un diseño de parcelas divididas en bloques completos al azar con arreglo factorial 2 x 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” con dos niveles (1.5 y 2.0 L de capacidad, con 18.5 y 32.8 cm de longitud, respectivamente, y ambos con 10.7 cm de diámetro). En las parcelas pequeñas se asignó el factor sustrato con cinco niveles, constituidos por las mezclas siguientes: 1) turba, agrolita y vermiculita (5:3:2); 2) fibra de coco, agrolita y vermiculita (5:3:2); 3, 4 y 5) composta de cachaza y cascarilla de café en proporciones 3:1, 2:2 y 1:3, respectivamente. El testigo absoluto constituyó una parcela grande adicional en el que se utilizó el sistema tradicional de producción de planta, en bolsa de polietileno de 5 L de capacidad con un sustrato de tierra agrícola local. Las cinco combinaciones de sustrato incluidas en el estudio 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<sup>-1</sup> de osmocote®, fertilizante de liberación controlada con fórmula 9-6-12 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) y con un periodo de liberación de 12 a 14 meses. Para el tratamiento testigo se diluyeron 3 kg de fertilizante compuesto triple 16 en 200 L de agua y se hicieron aplicaciones quincenales de 200

mL por planta. En todos los tratamientos se hicieron aplicaciones foliares de Gro-green® 20-30-10, a razón de 3 mL L<sup>-1</sup>, dos veces por semana durante cinco meses

### **2.2.3. Variables evaluadas**

Al inicio del experimento se marcaron cinco plantas por parcela para medir en ellas el crecimiento en altura, diámetro del tallo y número de hojas cada 15 días; además, a lo largo del periodo de producción en vivero se realizaron cinco muestreos destructivos de dos plantas por parcela (10 plantas por tratamiento), en las que se midió la altura, el diámetro del tallo, el área foliar, la arquitectura de la raíz, y la biomasa del tallo, hojas y raíces de primer y segundo orden.

La altura se midió desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la planta. El diámetro del tallo se midió a 0.5 cm por encima del sustrato; después del injerto se midió el diámetro del patrón y del brote injertado. En la medición del número de hojas y área foliar se consideraron sólo las hojas fotosintéticamente activas en el patrón y después en el brote. Cabe mencionar que la biomasa aérea a los 10 meses después del trasplante correspondió al brote del injerto por lo que los datos son menores que los reportados a los seis meses. El área foliar se midió con un integrador de área foliar modelo LI-3100C. Para describir la arquitectura de la raíz se midieron y contaron las raíces adventicias y las raíces primarias y secundarias derivadas de la raíz pivotante; en los tres primeros muestreos se midieron y contaron todas las raíces en cada planta, pero en los siguientes muestreos la raíz pivotante se dividió en dos secciones (superior e inferior) y en una muestra de 5 cm de cada sección se midieron y contaron las raíces primarias y secundarias y se extrapoló a toda la raíz. Para cuantificar la biomasa, las partes aérea y radical de la planta se colocaron por separado en bolsas de papel, se etiquetaron y se metieron a la estufa de secado a 80 °C por 72 h. Pasado ese tiempo se sacaron las muestras y se obtuvo por separado el peso seco 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, utilizando 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, y  $t_1$  = tiempo 1.

#### 2.2.4. Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el procedimiento ANOVA del programa Statistical Analysis System (SAS), con un nivel de significancia del 5 %, utilizando los valores promedio por parcela. En una primera etapa del análisis 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 contra la media de los tratamientos en contenedor. En una segunda etapa del análisis se excluyó el testigo absoluto y se realizó un análisis parcial con los 10 tratamientos en contenedor, con el siguiente modelo estadístico que se ajusta a un arreglo factorial en un diseño de parcelas divididas:

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

Donde  $\mu$  es la media general,  $\alpha_i$  es el efecto del i-ésimo nivel del factor tamaño de contenedor asignado a las parcelas grandes,  $P_k$  es el efecto del k-ésimo bloque,  $\epsilon_{ik}$  es el error aleatorio de la parcela grande,  $\beta_j$  es el efecto del j-ésimo nivel del factor sustrato, asignado a las parcelas pequeñas,  $(\alpha\beta)_{ij}$  es el efecto de interacción entre ambos factores y  $\epsilon_{ijk}$  es el error experimental correspondiente a las parcelas pequeñas. En la presentación de los resultados los datos del efecto de los tratamientos y la comparación de todos contra testigo corresponden al análisis completo de los 11 tratamientos y los datos de los factores y su interacción corresponden al análisis parcial de los 10 tratamientos.



## 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.3.1. Crecimiento en altura y diámetro

Seis meses después del trasplante, las plantas presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la altura y diámetro del tallo, pero no en el número de hojas, en respuesta a los tratamientos evaluados. La altura, el diámetro y la tasa relativa de crecimiento en diámetro (TRCD) de las plantas presentaron diferencias significativas en 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, diámetro y la tasa relativa de crecimiento en altura (TRCA); para las demás variables las diferencias no fueron significativas y no se presentó interacción entre el contenedor y sustrato para ninguna de las variables evaluadas (Cuadro 2.1.).

Cuadro 2.1. Valores de significancia (p) de las variables de crecimiento en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. antes del injerto, a los seis meses después del trasplante.

FUENTE DE VARIACIÓN	ALTBR	DIA	HOJAS	TRCA	TRCD	TRCH
Tratamientos	0.0002	0.0001	0.2890	0.0062	0.0086	0.1600
Todos contra 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.

Después de 10 meses del trasplante las diferencias sólo se presentaron en la comparación de los tratamientos con el testigo en todas las variables evaluadas. Los factores contenedor, sustrato e interacción no mostraron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en ninguna de las variables (Cuadro 2.2.).

Cuadro 2.2. Valores de significancia (p) de las variables de crecimiento en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. 10 meses después del trasplante.

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>ALBR</b>	<b>DMBR</b>	<b>DMPA</b>	<b>AFBR</b>
Tratamientos	0.0001	0.0158	0.0001	0.0307
Todos contra 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.

La altura, diámetro y tasa relativa de crecimiento en diámetro a los seis meses después del trasplante fueron 16, 21 y 17 % mayores en el testigo que en los tratamientos en contenedor (Cuadro 2.2) y las diferencias aumentaron a los 10 meses después del trasplante (Cuadro 2.3). Esto era de esperarse ya que la bolsa fue al menos 2.5 veces mayor en volumen (5 L) que los tamaños de contenedor evaluados (2.0 y 1.5 L); aunque se obtuvieron plantas de mayor tamaño en el tratamiento testigo, esto no es análogo de plantas de calidad, ya que ésta disminuye cuando la planta es más grande o rebasa por mucho el tamaño del contenedor (South *et al.*, 2005). Algunos autores opinan que en contenedores de mayor tamaño se pueden obtener plantas mejores (Domínguez *et al.*, 2006; South *et al.*, 2005), siempre y cuando exista una relación equilibrada entre el tamaño de la planta con respecto a las dimensiones del contenedor.

En la comparación entre tamaños de contenedor a los seis y 10 meses después del trasplante no se presentaron diferencias significativas en las variables de crecimiento, a pesar de que el contenedor de mayor tamaño (2 L) tenía un volumen 25 % mayor que

el otro. Prieto *et al.* (2007) obtuvieron resultados similares al evaluar diferentes tamaños de contenedor en el crecimiento de *Pinus engelmanni* Carr., donde la diferencia del contenedor de mayor capacidad con respecto al intermedio fue de 34 %, pero en las variables de crecimiento las diferencias no fueron evidentes. El tipo y tamaño del contenedor no afecta la supervivencia en sitios de fácil regeneración, pero en los sitios limitantes donde la regeneración es difícil, esas características pueden ser determinantes para la supervivencia y el crecimiento de las plantas (South *et al.*, 2005). Antes y después del injerto para las variables de crecimiento evaluadas, el tamaño del contenedor no fue un factor limitante para el desarrollo de las plantas, pero se debe considerar que las características del envase garanticen su funcionalidad desde el punto de vista biológico y económico (Prieto *et al.*, 2007).

Cuadro 2.3. Valores medios de variables de crecimiento antes del injerto en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. seis meses después del trasplante

FUENTE DE VARIACIÓN	VARIABLES						
	ALT (cm)	DIA (mm)	HOJAS (número)	TRCA (cm m <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	TRCD (mm cm <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	TRCH (min hr <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )	
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	

ALT: altura del tallo DIA: diámetro, TRCA: tasa relativa de crecimiento en altura, TRCD: tasa relativa de crecimiento en diámetro, TRCH: tasa relativa decrecimiento en hojas. Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0.05$ ). 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, 7 5% cascarilla de café.

Con respecto al efecto del sustrato, a los seis meses del trasplante las mezclas con turba y con fibra de coco ocasionaron los valores más altos para el diámetro del tallo y la TRC en altura (Cuadro 2.3), pero al final del estudio desaparecieron las diferencias entre los sustratos (Cuadro 2.4). Al respecto, Rodrigues y Costa (2009) encontraron que las plantas de *Hevea brasiliensis* alcanzaron mayor altura y diámetro del tallo en un sustrato a base de composta de corteza de pino, turba y fertilizante de liberación controlada, que al usar solo corteza de pino compostada. Algunos autores como Valdés *et al.* (2014) y Fernández *et al.* (2012) al evaluar compostas como sustratos en

diferentes cultivos, determinaron que la altura y el diámetro presentaron los valores más altos en las mezclas compuestas por compostas en comparación con las plantas producidas en suelo. Con base en las variables que determinan el crecimiento de las plantas en contenedor, las mezclas a base de compostas de cachaza y cascarilla de café consiguen remplazar la turba, agrolita y vermiculita o en su caso la fibra de coco puede substituir a la turba.

Cuadro 2.4. Valores medios de las variables de crecimiento después del injerto en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. 10 meses después del trasplante

FUENTE DE VARIACIÓN	VARIABLES			
	ALBR (cm)	DMBR (mm)	DMPA (mm)	AFBR (cm m <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup> )
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

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

### 2.3.2. Producción de biomasa

Los tratamientos tuvieron un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la mayoría de las variables de producción de biomasa evaluadas a los seis y 10 meses después del trasplante (Cuadro 2.5). En la comparación de los contenedores con el testigo se presentaron diferencias significativas en PSTA, PSFO, PST, RPAR y FIBRO; el factor sustrato afectó las variables PSTA, PSFO, PSRPI, PSTO y FIBRO. Sin embargo, con excepción del peso seco de las raíces secundarias, el factor contenedor y la interacción contenedor\*sustrato no tuvieron efecto significativo en esas variables.

Cuadro 2.5. Valores de significancia ( $p < 0.05$ ) de las variables de biomasa de plantas *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. antes y después del injerto a los seis y 10 meses del trasplante.

	FUENTE DE VARIACIÓN	PSTA	PSFO	PSRPI	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, PSRPI: 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/ PSRPI) ( $P < 0.05$ ).

A los seis meses después del trasplante los valores promedio para PSTA, PSFO PSTO y RPAR fueron 54, 38, 36 y 37 % mayores, respectivamente, en el tratamiento testigo que en los contenedores; en cambio, el valor promedio de la FIBRO fue 39 % a favor de los tratamientos (Cuadro 2.6). 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 caracterizar mejor la calidad morfológica de las planta producidas en contenedor (Navarro *et al.*, 2006; Oliet, 2000). A los 10 meses después del trasplante se obtuvieron diferencias de 68, 59, 71, y 65 % en las variables PSTA, PSFO, PSRP, y PSTO respectivamente, con valores más altos en el testigo que en los contenedores, para las demás variables no se presentaron diferencias (Cuadro 2.7).

Si bien el volumen del envase en el tratamiento testigo (5 L) favoreció mayor producción de biomasa aérea, ocurrió lo contrario en el sistema radical, ya que aun cuando dispuso de mayor espacio no presentó en todas las variables los valores más altos que los obtenidos en los contenedores. La fibrosidad fue mayor en los contenedores, por lo que la planta aprovechó mejor el espacio, y generó mayor número 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 desarrollo en el sitio de plantación (Atzmon *et al.*, 1994; Haase, 2006).

Cuadro 2.6. Valores medios de las variables de biomasa de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. antes del injerto a los seis meses del trasplante.

Fuente de variación	Variables							
	PSTA (g)	PSFO (g)	PSRP (g)	PSRS (g)	PSTO (g)	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	

PSTA: peso seco del tallo, PSFO: peso seco del follaje, PSRP: peso seco de la raíz principal, PSRS: pesos seco de las raíces secundarias, PSTO: 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. Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (tukey  $\alpha=0.05$ ).



Con respecto a los contenedores, 500 ml de volumen no marcaron diferencia para la producción de biomasa entre el contenedor de mayor tamaño con respecto al de menor capacidad (Cuadro 2.7).

La utilización de sustratos orgánicos mejora la calidad de planta, acorta los tiempos de producción y favorece la probabilidad de éxito en la plantación (Fernández *et al.*, 2012). En la mezcla con 50 % de turba se presentaron los valores más altos para el peso seco del tallo, follaje, y total, con 27, 20 y 20 % más que en la mezcla S4 compuesta por cachaza y ésta con 4, 6 y 7 % más biomasa en comparación con los valores más bajos para esas variables. Aun cuando los valores más altos se presentan en el sustrato formado por turba, en la relación parte aérea-raíz que indica el equilibrio del crecimiento, así como en la fibrosidad no se presentaron diferencias significativas entre las mezclas evaluadas (Cuadro 2.7). Al respecto Fernández *et al.* (2012), al analizar el peso seco del sistema radical en plantas de *Manilkara sapota* (L) P. Royen en vivero, reportó que los valores más altos se obtuvieron en los sustratos orgánicos formados por humus de lombriz, cachaza y estiércol, en comparación con los obtenidos en suelo como sustrato. A los 10 meses después del trasplante, el factor sustrato sólo afectó el peso seco de las raíces secundarias con 54 % más biomasa en la mezcla formada por turba (S1), con respecto a la de menor valor que fue la S4, composta de cachaza y cascarilla de café (1:1) (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7. Valores medios de las variables de biomasa de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. después del injerto a los 10 meses del trasplante.

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

PSTA: peso seco del tallo, PSFO: peso seco del follaje, PSRP: peso seco de la raíz principal, PSRS: pesos seco de las raíces secundarias, PSTO: 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. Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

### **2.3.3. Arquitectura de raíz**

A los seis meses después del trasplante se presentaron diferencias significativas entre tratamientos principalmente en las variables LONRP, DIARP, LONRAD, NRPRI y LRPRI; diferencias que se debieron fundamentalmente a la comparación del testigo con los contenedores, ya que el tipo de contenedor afectó la LONRP y el factor sustrato a DIARP y NRPRI; la interacción no afectó ninguna de las variables de arquitectura de raíz evaluadas (Cuadro 2. 8).

A los 10 meses después del trasplante, las diferencias significativas que se presentaron entre tratamientos correspondieron a las variables LONRP, NRPRI, LRPRI y NRSPRI. En la comparación del testigo con los contenedores las diferencias se presentaron en las variables LONRP, DIARP, NRSRD, NRPRI y LRPRI. El tamaño de contenedor afectó a las variables LONRP y NRSPRI, los sustratos afectaron LONRAD y NRPRI. En la interacción no se presentaron diferencias significativas (Cuadro 2.8)

Cuadro 2.8. Valores de significancia ( $p < 0.05$ ) de las variables de arquitectura de raíz de plantas *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. a los seis y 10 meses del trasplante.

	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

A los seis meses el testigo presentó los valores más altos en las variables LONRP, DIARP, LONRAD y LRPRI, con 36.5, 23, 62 y 38.5 % respectivamente, cuando se comparó con los tratamientos en contenedor, pero en el NRPRI los valores más altos se obtuvieron en los contenedores con 22 % más que en el testigo (Cuadro 2.9). A los 10 meses después del trasplante se encontraron resultados similares en las variables LONRP, DIARP y LRPRI con valores 24, 25 y 43 % mayor en el testigo, pero no así para NRPRI donde el valor más alto se obtuvo en los contenedores, con un 37 % más que en el testigo (Cuadro 10). Si la arquitectura de raíz se refiere a la configuración espacial del sistema de raíz (Lynch, 1995), entonces está determinada principalmente por el crecimiento de las nuevas raíces; en este sentido, el crecimiento en contenedor favoreció la abundancia de las raíces de primer orden, si bien la bolsa fue de mayor profundidad y volumen que los contenedores, 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., determinó que el contenedor profundo además de favorecer el crecimiento de la raíz pivotante promovió un alto número de nuevas raíces y mayor biomasa de éstas.

Entre los tamaños de contenedor antes del injertado sólo se presentaron diferencias significativas en la variable LONRP con 19.6 % mayor en el de 2 L en comparación con el de 1.5 L (Cuadro 2.9). Aunque en promedio la longitud de la raíz pivotante en el contenedor de mayor capacidad fue 6.1 cm más grande, en las demás variables que forman la arquitectura de raíz, no se presentaron significancias estadísticas, por lo que la profundidad del contenedor no denotó mayor crecimiento en las raíces de primer y segundo orden a los seis meses después del trasplante. A los 10 meses la longitud de la raíz pivotante fue 13 % mayor en el contenedor más grande, pero el número de raíces de primer orden (NRPRI), fue 22 % mayor en el contenedor de menor volumen (1.5 L). Lo anterior indica que las raíces de las plantas en el contenedor de 2 L tardaron más en llegar al fondo de éste, por lo que la energía se canalizó hacia el crecimiento de la raíz pivotante, mientras que las plantas del contenedor chico la energía se encauzó hacia la formación de nuevas raíces, ya que la raíz 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. En las demás variables evaluadas no se presentaron diferencias entre tamaños de contenedor (Cuadro 2.9). Existe una marcada diferencia en el crecimiento y número de raíces laterales entre las plantas que se cultivan en contenedor y en bolsa. En algunos estudios realizados se ha encontrado que el número de raíces laterales es 80 % más abundante en los contenedores que en las plantas producidas en bolsa, así como la longitud y el diámetro promedio (Soman y Saraswathyamma, 1999).

Cuadro 2.9. Valores medios de la arquitectura de raíz de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. antes del injerto a los seis meses después del trasplante.

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

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

Con relación a los sustratos, a los seis meses después del trasplante el efecto de las mezclas se observó en NRPRI, las cuales fue 29.5 % más abundantes en el sustrato formado por turba en comparación con el menor valor que fue en fibra de coco (S2, Cuadro 2.10). A los 10 meses las raíces adventicias fueron 46 % más largas en el sustrato con turba (S1) con respecto al S5, que tuvo los valores menores; de igual manera, las raíces primarias (NRPRI) fueron 51 % más abundantes en S1 en comparación con el formado con mayor porcentaje de cachaza (S3); en las demás variables no se observaron diferencias significativas (Cuadro 2.10). Una característica primordial para el desarrollo de las plantas en vivero es el sistema radical, del cual depende la supervivencia y adaptación en campo (Ruano, 2002). El sustrato compuesto por turba sólo fue mejor en dos de las variables que conforman la arquitectura de raíz, lo que indica que las plantas desarrolladas en los demás sustratos son semejantes en su crecimiento radical.

Cuadro 2.10. Valores medios de la arquitectura de raíz de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. después del injerto a los 10 meses después del trasplante.

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

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



## 2.4. CONCLUSIONES

Las plantas producidas en el sistema tradicional (bolsa y tierra), resultaron de mayor tamaño pero sin guardar ningún equilibrio entre la parte aérea y radical. Las de contenedor fueron de menor porte pero con un mejor equilibrio en su crecimiento, mayor producción de raíces de primer y segundo orden, y en general una mejor arquitectura de raíz.

Los resultados muestran que es posible el uso de sustratos y contenedores en la producción de plantas de *Hevea brasiliensis* en vivero, en sustitución de la tierra y la bolsa de polietileno. Entre las mezclas evaluadas la formada por turba presentó resultados favorables seguida de la fibra de coco y posteriormente las compuestas por compostas, pero en todos los casos los resultados son promisorios para la producción de plantas en combinación con los contenedores de 1.5 o 2 L de capacidad. Sin embargo, al final del ciclo, el envase de menor capacidad promovió el mejor desarrollo de raíces de segundo orden.

La introducción de los contenedores y sustratos para la producción de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. requerirá de cambios radicales en los viveros, pero tiene varias 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. Sin embargo, son importantes más trabajos que evalúen con más detalle el sistema y aprovechar el potencial de la producción en contenedor para esta especie.

## 2.5. LITERATURA CITADA

- Atzmon N., E. Solomon, O. Reuveni and J. Riov. 1994. Lateral root formation in pine seedlings. *Trees* 8: 268-277.
- Chirino M., E., A. Vilagrosa C., E. I. Hernández., A. Matos, 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.
- Comité Nacional Sistema Producto Hule (CSPH). 2009. Actas de la sesión XXXVII. Tuxtepec, Oaxaca. México.
- Domínguez L., S., N. Herrero S., I. Carrasco M., L. Ocaña B., J. L. Peñuelas R. and J. G. Mexal. 2005. 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. and 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): 5-15.
- 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. <http://www.rngr.net/nurseries/publicatons/proceedings>. (14 de noviembre de 2013).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2015. Red nacional de estaciones meteorológicas. <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>. (07 Enero de 2015).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2008. Potencial productivo del hule (*Hevea brasiliensis* Müll Arg.) de temporal.

- <http://www.agromapas.inifap.gob.mx/potencialproductivo/imagenes/mapas/hule-temporal.jpg>. (11 febrero de 2014).
- Lindström, A. and G. Rune. 1999. Root deformation in plantations of container-grow 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.
- 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. pp: 31-46. Cap. 2. *In*: Cortina, J., J. L. Peñuelas, J. Puértolas, A. Vilagrosa y R. Savé (Coord.). *Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes Mediterráneos. Estado Actual de Conocimientos. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 191 p.*
- Oliet, J. 2000. *La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Córdoba, España. 93 p.*
- Plan Rector Sistema Nacional Hule (PRSPH). 2005. Segunda fase: Diagnóstico inicial, base de referencia y estructura estratégica. Villahermosa, Tabasco. 44 p. <http://www.amsda.com.mx/PRNacionales/Nacionales/PRNHule2.pdf>. (03 de diciembre de 2013)
- Prieto R., J. A., P. M. Soto G., 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. y 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.*
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2013.

<http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>. (3 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 oleífera* Lam. en diferentes sustratos. Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 2(2):66-77.

### CAPÍTULO III

## LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS INFLUYEN EN LA ARQUITECTURA DE RAÍZ DE LAS PLANTAS DE HULE EN CONTENEDOR

### RESUMEN

El medio de crecimiento es un factor que influye en el crecimiento de las plantas y sus propiedades físicas y químicas están estrechamente relacionadas con la arquitectura de raíz. El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades físicas y químicas del sustrato que influyen en la arquitectura de raíz y el crecimiento de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., producidas en contenedor. En vivero se utilizó un diseño completamente al azar, y a los 11 meses después del trasplante se evaluó el crecimiento del sistema radical en cinco mezclas de sustratos, compuestas por turba (peat moss), fibra de coco, compostas de cachaza y cascarilla de café. Las propiedades de los sustratos se determinaron en el laboratorio. Mediante un análisis de correlaciones canónicas se determinó la relación entre las propiedades de las mezclas y las variables de la arquitectura de raíz. Las variables longitud de raíces adventicias, número de raíces primarias, raíces secundarias, biomasa radical, fibrosidad y densidad de raíces primarias mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Los valores más altos se presentaron en las mezclas con mayor proporción (50%) de turba y de fibra de coco, mientras que los valores en las compostas fueron menores. En la caracterización de las mezclas, las formadas por compostas se distinguieron por presentar valores altos en conductividad eléctrica (CE), retención de humedad, densidad aparente (DA) y menor porosidad. Aquellas con mayor proporción de peat moss y fibra de coco presentaron pH por arriba de 6. En las correlaciones canónicas las variables DA, pH, CE y porosidad de humedad, son las que mayormente están asociadas con las variables de la arquitectura de raíz.

Palabras clave: turba, fibra de coco, compostas, porosidad, *Hevea brasiliensis*, correlaciones canónicas.

## PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SUBSTRATE INFLUENCE IN ROOT ARCHITECTURE OF RUBBER SEEDLINGS IN CONTAINER

### ABSTRACT

The growth medium is a factor that influences the growth of plants and their physical and chemical properties are closely related to root architecture. The objective of this study was to evaluate the physical and chemical properties of the substrate influencing the architecture of root and plant growth *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., produced in the container. A completely randomized design was used in nursery, and at 11 months after transplantat growth of the root system in five substrate mixtures composed of peat (peat moss), coir, compost filter cake and coffee husk was evaluated. The properties of the substrates were determined in the laboratory. Through a canonical correlation analysis the relationship among the properties of substrate mixtures and variables regarding root architecture was determined. The variable length of adventitious roots, number of primary roots, secondary roots, root biomass, woodiness and density of primary roots showed significant differences ( $p < 0.05$ ). The highest values were presented in mixtures with a higher proportion (50%) of peat moss and coconut fiber, while values were lower in seedling grown in compost. In characterizing mixtures, those with were characterized by high values in electrical conductivity (EC), moisture retention, bulk density (BD) and lower porosity. Those with the highest proportion of peat moss and coconut fiber presented pH above 6. In the canonical correlations DA, pH, EC and porosity moisture variables are those that are mostly associated with the variables of root architecture.

Keywords: peat moss, coir, compost, porosity, *Hevea brasiliensis*, canonical correlations.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El éxito de las plantaciones depende entre otros factores de la utilización de plantas de calidad, cuyas características morfológicas y fisiológicas cumplan con los objetivos relacionados con el crecimiento y supervivencia en función de las condiciones del sitio de plantación (Duryea, 1985; Davis, 2005). Generalmente la calidad de las plantas se determina con la medición de variables que están enfocadas al crecimiento del tallo (diámetro, altura, hojas, brotes, etc.), así como la biomasa. Sin embargo, las características del sistema radical, que influyen en la absorción de agua y nutrientes y en otros procesos ecofisiológicos relacionados con el establecimiento y crecimiento inicial de la planta, han sido poco estudiadas (Arias, 2004).

En el proceso de establecimiento las plantas requieren de un sistema de raíces funcional con la capacidad de exploración y colonización del medio de crecimiento, para abastecer adecuadamente agua y nutrientes a las mismas (Tsakalidimi *et al.*, 2009). Las raíces tienen un crecimiento irregular y forman un sistema que se comporta como objetos geométricos complejos, dentro de los cuales la adquisición y la utilización de recursos no es uniforme debido a que interactúan dinámicamente con un ambiente edáfico heterogéneo, por lo que se necesita un enfoque arquitectónico específico para su estudio (Wullschlegler *et al.*, 1994; Danjon y Reubens, 2008).

La arquitectura de raíz se refiere a la configuración espacial del sistema radical y al despliegue explícito de sus ejes. Su importancia funcional estriba en su eficiencia para la adquisición de recursos, su establecimiento y adaptación a condiciones restrictivas del suelo (Lynch, 1995; Barthélémy y Caraglio, 2007; Spanos *et al.*, 2008). Por lo anterior, es importante un sistema de raíces con buena distribución y sin obstáculos durante el crecimiento de la planta en vivero, toda vez que es determinante para el anclaje y desempeño posterior de las plantas en campo.

En los sistemas de producción en contenedor las raíces tienden a ser muy susceptibles tanto a las características de los sustratos como al tamaño y forma del contenedor, por lo que éstos son los principales factores que influyen sobre el crecimiento de las plantas en vivero y, en particular, en las características y estructura del sistema radical (South *et al.*, 2005). El sustrato es el factor principal para el éxito de la producción en contenedor (Ansorena, 1994); su función es proporcionarle agua, aire, nutrientes y

soporte físico a las plantas (Landis, 1990). Las propiedades físicas y químicas de los sustratos están ligadas al crecimiento de la planta, principalmente por la estrecha relación con el sistema radical. Por un lado las características físicas permiten la aireación y retención de humedad, mientras que las propiedades químicas influyen en procesos como el intercambio de nutrientes y la velocidad de descomposición, entre otros (Landis, 1990).

El sistema inicial de raíces en las plantas de *Hevea brasiliensis* está formado por una raíz pivotante y raíces adventicias que aseguran el anclaje de1 árbol y contribuyen al suministro de agua y nutrientes que extraen desde las capas profundas del suelo, especialmente en la época de menos humedad. Las raíces laterales nacen por debajo del cuello y desarrollan abundantes pelos absorbentes que se encargan de explorar las capas superficiales del suelo donde se encuentra la materia orgánica, extendiéndose varios metros y llegan a entrelazarse con los árboles vecinos (Compagnon 1998). Para el árbol del hule la distribución espacial del sistema radical y su interacción con el medio de crecimiento es determinante para la conformación de un cepellón que pueda ser extraído del contenedor sin problemas y en lo posible se reduzca el estrés que sufre la planta cuando es llevada y establecida en el sitio de plantación.

Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue evaluar las principales características físicas y químicas de diferentes mezclas de sustrato con uso potencial para la producción de planta de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero y su posible relación con la arquitectura de raíz de las plantas producidas en contenedor. El conocimiento de la interacción raíz-medio de crecimiento nos permitirá hacer propuestas adecuadas para la producción en contenedor de planta de calidad de esta especie



## **3.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.2.1. Localización y condiciones del experimento**

El experimento se estableció en el Campo Experimental “El Palmar” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el municipio de Tezonapa, Ver., localizado en el kilómetro 16 de la carretera municipal Tezonapa-Palmar (18° 31' 13" N y 96° 47' 40" O, 180 m de altitud). La temperatura media anual de la región es de 24°C. En el periodo que va de 2009 a 2014 se registró una precipitación de 11,390 mm, equivalente a 1,898 mm anuales, en la estación invernal se observó una precipitación promedio de 43 mm durante un periodo de cinco años (2009-2013) (INIFAP, 2015).

La semilla se colectó de las plantaciones de hule dentro del campo y se almacenó a temperatura ambiente hasta el momento de la siembra. La semilla se puso a germinar en un sustrato compuesto de cachaza y cascarilla de café (30:70 v:v) y se cubrió con malla sombra al 50 % colocada a una altura de 1.5 m. En el momento que apareció la radícula, la semilla se trasplantó a los contenedores para iniciar el ensayo; se colocó una semilla por cavidad a una profundidad no mayor al tamaño de la misma y se cubrió con sustrato. Dos meses después del trasplante se aplicó fungicida Mancozeb® en dosis de 2 gL<sup>-1</sup> cada semana como preventivo de *Microcyclus ulei*, y en la época de mayor humedad (junio-diciembre) se aplicó Benomil® (2 gL<sup>-1</sup>), una vez por semana, como preventivo para los hongos de raíz.

Siete meses después del trasplante se injertaron las plantas; las yemas se obtuvieron de brotes de 8 semanas de edad del clon IAN-710, en el jardín clonal del campo experimental. Se seleccionaron las yemas y se homogeneizó lo más posible el proceso de injertado. A las 2 y 3 semanas después del injerto, cuando se observó el brote de la yema, se retiró el amarre (cubierta con plástico) y 2 semanas después se eliminó la parte terminal del patrón y el corte se cubrió con pintura para evitar pudriciones.

### **3.2.2. Diseño experimental y tratamientos**

El experimento se estableció con un diseño completamente al azar constituido por cinco tratamientos (mezclas de sustratos) con cinco repeticiones cada uno. La unidad

experimental estuvo constituida por 25 plantas. Las mezclas incluidas fueron: M<sub>1</sub> (50 % turba de musgo, 30 % vermiculita y 20 % agrolita), M<sub>2</sub> (50 % fibra de coco, 30 % vermiculita y 20 % agrolita), M<sub>3</sub> (75 % cachaza y 25 % cascarilla de café compostados), M<sub>4</sub> (50 % cachaza y 50 % cascarilla de café compostados) y M<sub>5</sub> (25 % cachaza y 75 % cascarilla de café compostados). La cachaza compostada se adquirió en el ingenio Motzorongo, ubicado en la comunidad con el mismo nombre. La cascarilla de café se obtuvo de la majadora (beneficio en seco del café) ubicada en la comunidad de Cachapa, ambas comunidades se localizan en el municipio de Tezonapa, Veracruz. Los demás sustratos como el peat moss, fibra de coco, agrolita y vermiculita, se compraron en una tienda de insumos.

En cada mezcla se aplicaron 7 g L<sup>-1</sup> de Osmocote<sup>®</sup>, fertilizante de liberación controlada con fórmula 9-6-12 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) y con un periodo de liberación de 12 a 14 meses. Además, en todos los tratamientos se hicieron aplicaciones foliares de Gro-green<sup>®</sup> 20-30-10, a razón de 3 mL L<sup>-1</sup>, 2 veces por semana durante 5 meses.

### **3.2.3. Caracterización de los sustratos**

La caracterización de los sustratos se realizó en el laboratorio de Física de Suelos localizado en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Las muestras analizadas se obtuvieron de diferentes partes del montículo de los sustratos preparados, se tomaron cinco repeticiones de 2 kg por cada mezcla preparada, en total se analizaron 25 muestras. Las propiedades físicas se determinaron de acuerdo con las metodologías propuestas por Ansorena (1994), e incluyeron: granulometría, porosidad total (PT), porosidad de aireación (PA), porosidad de retención de humedad (Phu), densidad aparente (Da), diámetro medio de partículas (Dm), índice de grosor de las partículas (lg). Para clasificar el agua en los sustratos, De Boodt, Verdonck y Cappaert desarrollaron la curva de liberación de agua para sustratos orgánicos y desarrollaron la nomenclatura para la clasificación (Bures, 1997) que se compone de CA: capacidad de aireación, es el porcentaje en volumen de agua que se libera a una tensión de 10 cm de columna de agua. AFD: agua fácilmente disponible es el porcentaje de agua que se libera bajo una tensión de 10 a 50 cm de columna. AR: agua de reserva, porcentaje de agua que se libera bajo una tensión de 50 a 100 cm de

columna. ADD: agua difícilmente disponible es la que se queda retenida en el sustrato después de aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua. EPT: espacio poroso total, es el volumen del sustrato no ocupado por partículas, está formado por la suma de CA, AFD, AR y ADD. MS: materia sólida del sustrato. (De Boodt *et al.*, 1974).

Las propiedades químicas se determinaron de acuerdo a la metodología propuesta por Warncke (1986), las cuales fueron: materia orgánica (MO), potencial de iones hidronio(pH), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), porcentaje de cenizas, nitrógeno total, carbono orgánico (CO) y relación carbono/nitrógeno (R C/N).

#### **3.2.4. Variables evaluadas**

A los 11 meses después del trasplante se realizó un muestreo destructivo de 4 plantas por parcela (20 plantas por tratamiento), en las que se midió la arquitectura de la raíz, y la biomasa de las raíces de primer y segundo orden. Para describir la arquitectura de la raíz se midieron y contaron las raíces adventicias y sus raíces primarias y secundarias. La raíz pivotante se dividió en dos secciones (superior e inferior) y en una muestra de 5 cm de cada sección se midieron y contaron las raíces primarias y secundarias y se extrapoló a toda la raíz. Para cuantificar la biomasa radical, se lavaron con cuidado las raíces de la planta y se colocaron en bolsas de papel, se etiquetaron y se metieron a la estufa de secado a 80 °C por 72 h. Pasado ese tiempo se sacaron las muestras y se obtuvo por separado el peso seco de la raíz pivotante (principal), y de las raíces primarias y secundarias incluidas las raíces adventicias. Las variables evaluadas fueron: LON: longitud de la raíz principal, DIARP: diámetro, NRAD: Número de raíces adventicias, LONRAD: longitud de las raíces adventicias, NRPRI: número de raíces primarias, LRPRI: longitud de raíces primarias, NRSPRI: número de raíces secundarias, PSR: peso seco del sistema radical, FIBR: fibrosidad que se obtuvo de la división del peso seco de las raíces secundarias/peso seco de la raíz pivotante , DENPR: densidad de raíces primarias, se obtuvo de la división del número de raíces secundarias/longitud de la raíz pivotante.

### 3.2.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables de arquitectura de raíz, así como los de la caracterización física y química de las mezclas evaluadas, se analizaron mediante un análisis de varianza y en los casos en que se encontraron efectos significativos de los sustratos, se realizó una prueba de comparación de medias (Tukey) con  $p < 0.05$ .

Para determinar la relación entre las variables que determinan la arquitectura de raíz (variables X) con las características físicas y químicas de los sustratos (variables Y), se realizó un análisis de correlaciones canónicas. Mediante este procedimiento se buscó la combinación lineal entre las variables:  $X (V_1 = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p)$  y otra combinación entre las variables  $Y (U_1 = a_1Y_1 + a_2Y_2 + \dots + a_qY_q)$ , de tal manera que la correlación entre las variables  $U_1$  y  $V_1$  sea la máxima. A estas combinaciones lineales se les denominan variables canónicas y las correlaciones entre estos pares se denominan correlaciones canónicas. Las variables V corresponden a las variables dependientes que forman la arquitectura de raíz (LON, DIARP, NRAD, LONRAD, NRPRI, LRPRI, NRSPRI, PSTR, FIBR y DENPR) y las variables U la forman las variables independientes que corresponden a las características físicas y químicas de los sustratos (MO, pH, C.E., C.I.C., Da, PT, PA, Phu, Dm e Ig).

El análisis se realizó con los promedios de las 4 plantas de cada bloque, por lo que de cada tratamiento fueron 5 datos de cada variable. De las características físicas y químicas se consideraron los valores obtenidos de cada repetición, en este caso cinco datos por variables. En general la matriz se formó con 25 datos de las variables dependientes y 25 de las variables independientes.

## 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.3.1. Propiedades físicas y químicas de las mezclas

Las mezclas de sustrato presentaron diferencias significativas  $0.0001 (P < 0.05)$  en todas las características físicas evaluadas (Cuadro 1). La sustratos con fibra de coco ( $M_2$ ) y con 50 % de compostas ( $M_3$ ) presentaron los valores extremos de Da y de porosidad, ambas características inversamente relacionadas, ya que cuando aumenta la primera disminuye la segunda (Landis *et al.*, 2014; Pastor, 1999). Las mezclas

compuestas por turba y fibra de coco obtuvieron los menores valores de  $D_a$  y las formadas por compostas presentaron los mayores. Con excepción del sustrato  $M_3$ , los valores obtenidos en las demás mezclas estuvieron dentro de los rangos recomendados para esta característica ( $<0.4 \text{ g/cm}^3$ ) (Abad *et al.*, 1993). En la porosidad total, las mezclas formadas por turba y fibra de coco ( $M_1$  y  $M_2$ ) presentaron valores por arriba del 90 %, mientras que las formadas por compostas estuvieron entre 70 y 80 % ( $M_3$ ,  $M_4$  y  $M_5$ ); sin embargo, todos los valores estuvieron dentro del rango recomendado para sustratos (Abad *et al.* 1993; Landis, 2009). La mezcla formada por 50% de fibra de coco presentó 76 % de porosidad aireación en comparación con la  $M_4$  que obtuvo solo 24 %. El rango recomendado para esta característica va de 10 a 30 % (Abad *et al.* 1993; Landis, 2009), y solo las mezclas 3 y 4 estuvieron dentro de esos valores (Cuadro 1). La mezcla 4 (50 % fibra de coco) presentó el mayor porcentaje de porosidad de humedad (69.9 %) en comparación con la mezcla 2 que presentó el menor valor (44.1%). Los valores obtenidos en todas las mezclas estuvieron por arriba del rango recomendado para sustratos que va de 25 a 35 % (Landis, 2009). El tamaño de partícula está definido por el diámetro de la misma y el grosor óptimo va de 0.25 a 6.0 mm (Abad *et al.* 1993; Landis, 2014); las mezclas formadas por turba y fibra de coco ( $M_1$  y  $M_2$ ) presentaron el menor tamaño y las mezclas formadas por compostas ( $M_3$ ,  $M_4$  y  $M_5$ ) presentaron el mayor grosor (1.8 a 2.2 mm), el tamaño de partículas de todas las mezclas estuvieron dentro del rango óptimo. El porcentaje de índice de grosor fue menor en las mezclas 1 y 2 y mayor en las compuestas por compostas ( $M_3$ ,  $M_4$  y  $M_5$ ). El rango para esta característica fue de 48.6 a 69.2 % (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Valores promedio de diferentes características físicas evaluadas en las mezclas de sustratos al inicio del experimento.

Mezclas	Da (g/cm <sup>3</sup> )	PT (%)	PA (%)	Phu (%)	Dm (mm)	Ig (%)
M <sub>1</sub>	0.154 d	90.1 a	31.00 b	59.15 c	1.62 d	48.60 e
M <sub>2</sub>	0.115 e	91.2 a	46.10 a	44.15 e	1.64 d	50.70 d
M <sub>3</sub>	0.460 a	79.7 c	13.35 c	66.35 b	2.23 a	69.25 a
M <sub>4</sub>	0.391 b	80.9 c	10.98 d	69.93 a	1.85 c	61.95 c
M <sub>5</sub>	0.321 c	82.3 b	31.55 b	50.75 d	1.95 b	66.65 b

Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos. M<sub>1</sub>: 50% peat moss, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>2</sub>: 50% fibra de coco, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>3</sub>: 75% cachaza y 25% cascarilla de café, M<sub>4</sub>: 50% cachaza y 50% cascarilla de café, M<sub>5</sub>: 25% cachaza y 75% cascarilla de café. Da: densidad aparente, PT: porosidad total, PA: porosidad de aireación, Phu: porosidad de humedad, Dm: diámetro medio de partículas, Ig: índice de grosor de las partículas.

En el Cuadro 3.2, se muestran los componentes de la curva de liberación de agua, las mezclas compuestas por compostas (M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> y M<sub>5</sub>) presentaron menor capacidad de aireación, que implica mayor porcentaje de agua difícilmente disponible, menor porosidad total, mayor materia sólida y en consecuencia menor porcentaje de agua disponible para la planta. En esas mezclas se observa que al aumentar el porcentaje de la cascarilla de café la CA disminuyó (M<sub>5</sub>), lo cual indica que este material tiende a retener agua no disponible para la planta cuando rebasa el 50 % en la mezcla, lo mismo ocurrió cuando aumento el porcentaje de cachaza, mientras que en la mezcla con 50 % de cada sustrato los valores fueron mejor equilibrados y tuvo mayor porcentaje de agua disponible y mejoro la porosidad total. Es evidente que por las características físicas de estos materiales se deben equilibrar los porcentajes en la mezcla. En las mezclas no composteadas (M<sub>1</sub> y M<sub>2</sub>) la formada por 50 % de fibra de coco presentó el mayor porcentaje de CA con la mayor porosidad total, pero menores valores de AFD y AR en comparación con la mezcla de 50 % de turba, lo que indica que la combinación de altos porcentajes de CA y PT disminuyen el porcentaje de agua de reserva y la disponible para la planta.

Cuadro 3.2. Componentes de la curva de liberación de agua de diferentes mezclas de sustratos utilizadas para la producción de plantas de *Hevea brasiliensis*.

Sustrato	CA (% vol)	AFD (% vol)	AR (% vol)	ADD (% vol)	EPT (% vol)	MS (% vol)
M <sub>1</sub>	35.15 b	12.08 b	12.43 a	30.49 e	90.15 b	9.85 d
M <sub>2</sub>	46.12 a	8.75 c	4.57 d	31.76 d	91.20 a	8.80 e
M <sub>3</sub>	20.35 d	6.50 d	9.90 c	43.00 b	79.75 e	20.25 a
M <sub>4</sub>	31.89 c	12.38 a	3.79 e	32.13 c	80.19 d	19.81 b
M <sub>5</sub>	16.42 e	2.79 e	10.90 b	52.00 a	82.31 c	17.69 c

M<sub>1</sub>: 50% peat moss, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>2</sub>: 50% fibra de coco, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>3</sub>: 75% cachaza y 25% cascarilla de café, M<sub>4</sub>: 50% cachaza y 50% cascarilla de café, M<sub>5</sub>: 25% cachaza y 75% cascarilla de café. ADD: agua difícilmente disponible, AFD: agua fácilmente disponible, AR: agua de reserva, CA: capacidad de aire, EPT: espacio poroso total, MS: materia sólida.

Las propiedades físicas descritas dependen en gran medida de la distribución del tamaño de las partículas (Ansorena, 1994), las mezclas a base de compostas presentaron mayores porcentajes de partículas de mayor tamaño que van de 0.5 a 4.7 mm (Figura 3.1), ocasionando una mayor retención de humedad no disponible para las plantas y que puede traer como consecuencia la pudrición de raíces por falta de oxígeno. Aun cuando las partículas de esas mezclas fueron de mayor tamaño la baja PA indica que tienen pocos macroporos o que estos fueron cubiertos por las partículas de menor tamaño, ya que la presencia de partículas muy pequeñas disminuye la porosidad y aumenta la capacidad de retención de agua (Peñuelas, 1996).. Generalmente los sustratos están constituidos por partículas de distintos tamaños, estas pueden variar considerablemente en función de la distribución porcentual de los tamaños de las partículas que se definen por el tamaño del rango de los tamices, por lo que, un buen medio de cultivo será una mezcla con diferentes tamaños y características de las partículas (Landis, 2014).

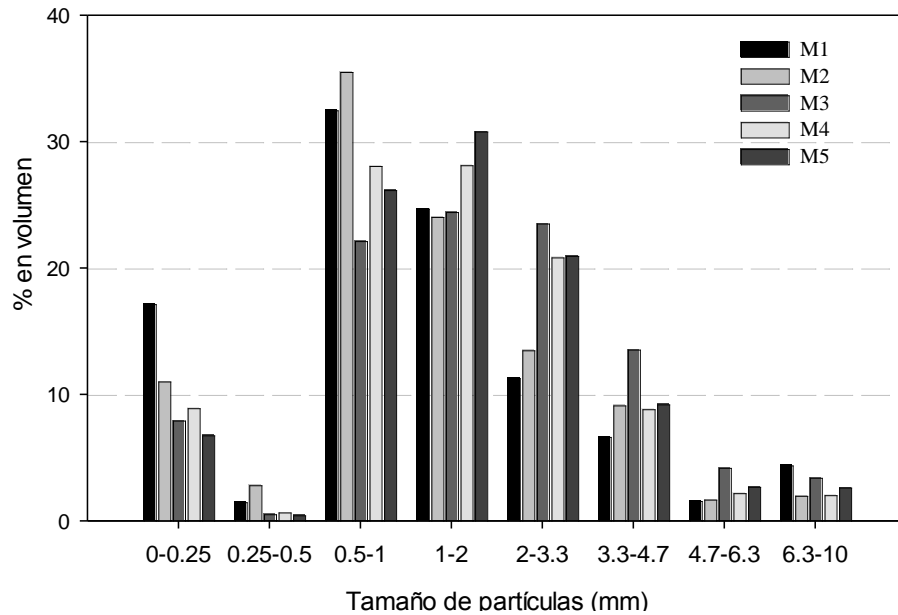


Figura 3.1. Porcentaje en volumen de los diferentes tamaños de partícula para cada mezcla de sustrato.

La retención de humedad se mide por el porcentaje en volumen de sustratos a diferentes tensiones. En la Figura 3.2, se muestra como las características físicas de cada mezcla repercute en la retención o liberación de humedad indispensable para el crecimiento de las plantas. Las mezclas 3 y 5 con los mayores porcentajes de cachaza ( $M_3$ ) y cascarilla de café ( $M_5$ ) retuvieron mayor porcentaje de humedad a una tención de 100 cm, mientras que la mezcla 4 con 50 % de ambos materiales presento valores muy similares a los de las mezclas no composteadas ( $M_1$  y  $M_2$ ).



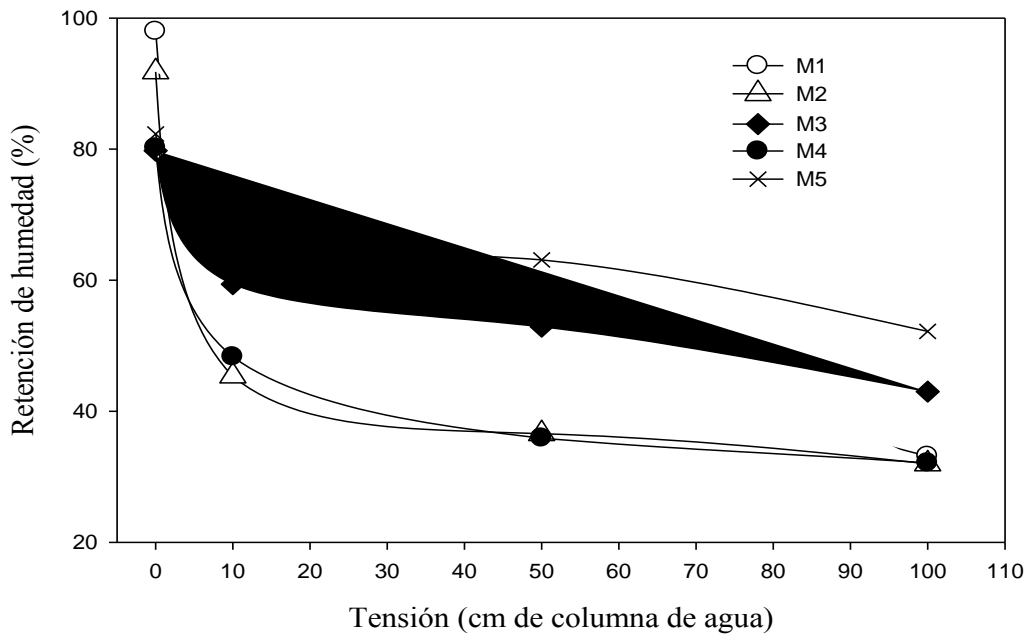


Figura 3.2. Curva de retención de humedad en cinco mezclas de sustratos para la producción de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg.

Las características químicas de las mezclas se muestran en el Cuadro 3.3, donde se puede observar que las M4 y M5 con mayor porcentaje de cascarilla de café, presentaron altos contenidos de MO y que ésta se relaciona con la CIC, CO, y relación C/N, ya que cuando aumento la MO también aumentaron los valores de esas características, al respecto Landis *et al.* (1990) y Burés (1997) indican que la MO tiende a tener alta CIC, y el CO con la relación C/N son indicadores del grado de madurez de la MO, un nivel optimo para esta característica es mayor a 80 % (Abad *et al.*, 1993). La cascarilla de café aporta mayor porcentaje de MO que la cachaza, turba y fibra de coco. La MO genera una gran proporción de microporos y produce una elevada capacidad de retención de humedad (Landis *et al.*, 1990), al respecto la M5 que con mayor porcentaje de MO también presentó la mayor retención de humedad (Figura 3.1). Las mezclas 1, 2 y 3 aunque con menor porcentaje de MO también presentaron relación con las otras variables. Con respecto al Nt la M3 con mayor porcentaje de

cachaza (75 %) presentó la mayor concentración (1.12) y a medida que el porcentaje de esta disminuyó en la mezcla bajo la concentración del Nt, por lo que el mayor aporte de Nt lo proporciona la cachaza, en las mezclas 1 y 2 la compuesta por 50 % de fibra de coco presenta valores superiores que la mezcla formada por turba. Es importante considerar el contenido de este elemento en las mezcla para los programas de fertilización. En general, la concentración Nt estuvo por abajo del límite recomendado (0-20) (Abad *et al.*, 1993). El pH está relacionado con la CIC, ya que interviene en la disponibilidad de nutrientes minerales (Landis *et al.* 1990; Burés, 1997), en M1 y M2 los valores del pH estuvieron por arriba del recomendado para sustratos de 5.5 a 6.5 (Landis *et al.* 2009) y en consecuencia la CIC disminuyó cuando el pH aumentó. Las mezclas formadas por compostas (M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> y M<sub>5</sub>), presentaron valores entre 5.6 y 5.7. Landis *et al.* (1990) indican que valores de pH bajos (4.0) pueden ocasionar problemas por enfermedades de raíz y por el contrario valores por arriba de 7.0 pueden ocasionar problemas con *Fusarium*. La CE presentó un amplio rango, de 0.46 a 6.22 dS m<sup>-1</sup>; las mezclas formadas por compostas (M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> y M<sub>5</sub>), estuvieron por arriba del nivel recomendado para sustratos (< 1.0) (Abad *et al.*, 1993), lo cual indica que esas mezclas presentan un alto contenido de sales, al respecto Bunt (1988) indica que en el rango de 2.0 a 3.5 ds m<sup>-1</sup>, las plantas crecen sin problemas, pero que de 3.5 a 5.0 ds m<sup>-1</sup> la concentración de la salinidad es elevada para la mayoría de las plantas repercutiendo en su crecimiento. Si bien las mezclas de compostas presentaron altos valores en la CE, las plantas crecieron sin problemas, toda vez que las sales se lixiviaron con los riegos ya que de haberse acumulado en el sustrato, la respuesta de las plantas habría sido muy diferente. La mezcla 1 estuvo ligeramente por arriba (1.32) del valor recomendado y el nivel de la M<sub>2</sub> estuvo dentro del rango (0.46). En general las propiedades químicas están definidas por la composición elemental de los materiales y caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del mismo (Pastor, 1999) (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Características químicas de las mezclas de los sustratos al inicio del experimento.

Sustrato	MO (%)	pH (1:1)	CE (ds-m)	CIC (meq/100g)	Nt (%)	CO (%)	C/N
M <sub>1</sub>	36.90 e	6.65 a	1.32 d	59.25 b	0.68 e	21.80 e	31.46 d
M <sub>2</sub>	49.50 c	6.70 a	0.46 e	40.20 d	0.92 b	28.66 c	31.86 c
M <sub>3</sub>	44.35 d	5.67 b	6.22 a	52.10 c	1.12 a	25.43 d	22.89 e
M <sub>4</sub>	57.40 b	5.65 c	5.65 b	71.40 a	0.77 d	33.20 b	42.57 b
M <sub>5</sub>	65.95 a	5.79 b	4.14 c	70.00 a	0.81 c	38.30 a	47.30 a

M<sub>1</sub>: 50% peat moss, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>2</sub>: 50% fibra de coco, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>3</sub>: 75% cachaza y 25% cascarilla de café, M<sub>4</sub>: 50% cachaza y 50% cascarilla de café, M<sub>5</sub>: 25% cachaza y 75% cascarilla de café. MO: materia orgánica, pH: potencial Hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, Nt: nitrógeno total, CO: carbono orgánico, C/N: relación carbono/nitrógeno.

### 3.3.2. Arquitectura de raíz

En el análisis de varianza realizado para las variables que forman la arquitectura de raíz se presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos. En las variables LONRAD, NRPRI, FIBR y DENPRI la significancia fue evidente con 0.0332, 0.0001; 0.030 y 0.0001 respectivamente, para las demás variables no se presentaron diferencias significativas.

En el Cuadro 3.4, se presentan los resultados de la prueba de medias de las variables en los diferentes tratamientos, se puede observar que las mezclas formadas por compostas (M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> y M<sub>5</sub>) presentan menor longitud de las raíces adventicias (LONRAD), bajo número de raíces primarias y menos raíces por cm (DENPR). Las características físicas y químicas de las mezclas repercuten de diferentes formas en el crecimiento de las plantas, las mezclas de compostas presentaron altos valores de densidad aparente que esta inversamente relacionado con la porosidad total del sustrato, por lo que la baja porosidad y la alta densidad tienen efecto sobre el crecimiento de las raíces ya que la circulación del oxígeno se ve limitada por la acumulación de humedad, compactación del sustrato y baja capacidad de aireación.

Con respecto a la fibrosidad de las raíces (FIBR) que indica la abundancia de estas, las compostas presentaron mayor fibrosidad con respecto a las no composteadas (M<sub>1</sub> y M<sub>2</sub>), que presentaron menores valores. Lo anterior indica que a mayor fibrosidad las plantas tienden a explorar más espacio en busca de nutrientes y humedad, adaptándose más rápido al sitio de plantación y reduciendo la mortandad, lo que se considera como la eficacia de las raíces en respuesta a su medio ambiente (Hodge, 2009).

Cuadro 3.4. Valores promedio de las variables de arquitectura de raíz en plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. de 11 meses de edad en diferentes mezclas de sustratos.

Mezclas	Variables de la arquitectura de raíz								
	DIARP (mm)	NRAD (No.)	LONRAD (cm)	NRPRI (No.)	LRPRI (cm)	NRSPRI (No.)	PSTR (gr)	FIBR	DENPR (No./cm)
M <sub>1</sub>	12.26 a	4.70 a	10.85 a	45.55 a	9.82 a	3.94 a	6.36 a	3.91 b	1.63 a
M <sub>2</sub>	11.81 a	3.85 a	8.07 a	43.15 a	9.18 a	3.11 a	5.26 a	4.59 ab	1.52 a
M <sub>3</sub>	13.46 a	3.55 a	6.84 ab	22.45 b	8.38 a	2.88 a	4.09 a	8.68 a	0.90 b
M <sub>4</sub>	11.70 a	4.55 a	6.71 b	22.85 b	8.05 a	3.29 a	4.4 a	6.16 ab	0.85 b
M <sub>5</sub>	11.59 a	3.00 a	7.21 ab	33.55 ab	8.58 a	3.21 a	471 a	7.04 ab	1.18 ab

Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos. M<sub>1</sub>: 50% peat moss, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>2</sub>: 50% fibra de coco, 30% vermiculita y 20% agrolita, M<sub>3</sub>: 75% cachaza y 25% cascarilla de café, M<sub>4</sub>: 50% cachaza y 50% cascarilla de café, M<sub>5</sub>: 25% cachaza y 75% cascarilla de café. DIARP: diámetro, NRAD: Número de raíces adventicias, LONRAD: longitud de las raíces adventicias, NRPRI: número de raíces primarias, LRPRI: longitud de raíces primarias, NRSPRI: número de raíces secundarias, PSTR: peso seco del sistema radical, FIBR: fibrosidad, DENPR: densidad de raíces primarias.

### 3.3.3. Arquitectura de raíz y sustratos

Como criterio para la interpretación se consideraron los valores iguales o superiores a 0.45, que pueden considerarse como los que relacionan mayormente las variables observadas con las variables canónicas (Sherry y Henson, 2005).

Los valores de la correlación canónica cuadrada ( $r^2$ ) expresados en porcentaje representan la varianza que cada variable observada comparte con su función canónica, los valores del primer par de variables canónicas comparten el 92 % de varianza y la proporción que representa es de 49 % y en el acumulativo con el segundo par de variables canónicas es de 78% (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Significancia de las variables canónicas

<b>Par de variables canónicas</b>	<b>Correlación canónica</b>	<b>Correlación canónica cuadrada</b>	<b>Proporción</b>	<b>Acumulada</b>	<b>Pr &gt; F</b>
U1V1	0.959	0.920	0.490	0.490	0.602
U2V2	0.935	0.874	0.296	0.787	0.875
U3V3	0.810	0.656	0.082	0.868	0.987
U4V4	0.793	0.628	0.073	0.941	0.992

Los resultados de las correlaciones canónicas para el conjunto de variables de arquitectura de raíz y características físico químicas de los sustratos indican que existe alto grado de correlación entre las variables independientes PA, Ig, Phu, Da, MO y CE, todas son representativas de las características físicas y químicas de las mezclas en su conjunto. En las variables dependientes el PSTR, LONRAD, NRAD, DENPRI y NRPRI son las que están fuertemente relacionadas con las características físico químicas de los mezclas. Se puede observar que las características físicas tienen mayor peso que las químicas, y la de mayor peso de las físicas es la porosidad de aireación y de las químicas la MO que está relacionada con otras variables como ya se describió con anterioridad.

Cuadro 3.6. Coeficientes canónicos estandarizados de las variables canónicas V y U

Variables										
Función	LONRP	DIARP	NRAD	LONRAD	NRPRI	LRPRI	NRSPRI	PSTR	FIBR	DENPRI
<b>U1</b>	0.258	0.639	-4.411	-7.157	-2.135	0.538	-0.694	9.588	-0.040	2.776
<b>U2</b>	0.033	-0.821	8.296	15.808	0.952	-0.932	-0.250	-19.770	-0.091	-0.241
<b>U3</b>	0.226	-0.490	60.075	120.717	-1.422	-0.032	-0.029	-151.684	1.426	1.530
<b>U4</b>	0.556	-0.671	21.628	42.633	-2.904	0.834	-0.855	-54.821	1.054	3.495
	MO	pH	CE	CIC	Da	PT	PA	Phu	Dm	Ig
<b>V1</b>	-1.502	0.039	-1.107	-0.076	-2.116	-0.547	-3.224	-2.672	-0.831	2.684
<b>V2</b>	1.185	-1.750	2.136	-0.330	-6.318	4.430	-8.409	-4.038	2.049	-0.205
<b>V3</b>	0.118	3.229	-1.874	1.139	6.049	4.442	-15.044	-11.956	-0.036	-1.963
<b>V4</b>	3.366	-2.626	0.177	0.598	-0.305	-1.732	18.793	14.805	8.580	-7.472

LONRP: longitud de la raíz principal, DIARP: diámetro, NRAD: Número de raíces adventicias, LONRAD: longitud de las raíces adventicias, NRPRI: número de raíces primarias, LRPRI: longitud de raíces primarias, NRSPRI: número de raíces secundarias, PSTR: peso seco total del sistema radical, FIBR: fibrosidad, DENPR: densidad de raíces primarias. MO: materia orgánica, pH: potencial Hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, Da: densidad aparente, PT: porosidad total, PA: porosidad de aireación, Phu: porosidad de humedad, Dm: diámetro medio de partículas, Ig: índice de grosor de las partículas.

### 3.4. CONCLUSIONES

Las características físicas y químicas de los sustratos son determinantes para el desarrollo de un buen sistema radical. En la mezcla con turba, el pH es la característica que afecta el desarrollo de las raíces. En la mezcla con fibra de coco los bajos valores de la densidad aparente afectan la arquitectura de raíz. En las mezclas formadas con mayor porcentajes de cachaza la Da afecta las características físicas, así como la CE en las propiedades químicas que repercuten en el crecimiento de las raíces de primer y segundo orden. El uso de compostas a base de cachaza y cascarilla de café, pueden utilizarse en la producción de planta de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en contenedor, pero se deben considerar sus propiedades y mejorarlas antes de utilizarlas principalmente la CE que se puede disminuir mediante lavados previos a su utilización.

Así también, la fibra de coco en lugar de la turba es una opción para la especie en vivero, pero se debe combinar con otros materiales que mejoren su estructura. Las características físicas son las que están mayormente relacionadas con la arquitectura de raíz, principalmente la porosidad de aireación, índice de grosor de partículas y la densidad aparente.

### 3.5. LITERATURA CITADA

- Abad, M. 1993. Sustratos. Características y propiedades. *In: Cultivos sin suelo*. F. Cánovas y J.R. Díaz. (eds.). Instituto de Estudios Almerienses y Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (FIAPA). pp. 47-62.
- Ansorena M., J. 1994. *Sustratos: propiedades y caracterización*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172p
- Arias, T. 2004. Arquitectura de raíces y vástagos de *Vismia baccifera* y de raíces de *Vismia macrophylla* (Clusiaceae). *Caldasia* 26 (2): 333-358.
- Barthélemy, D. and Y. Caraglio. 2007. Plant architecture: A dynamic, multilevel, and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny. *Annals of Botany* 99: 375–407.
- Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid, España. 339 p.
- Compagnon, P. 2008. El caucho natural. Consejo Mexicano del Hule y CIRAD. México, D.F. 710 p.
- Dallas, E. J. 1998. Métodos multivariados aplicados a los análisis estadísticos. International Thomson Editores. México. 566 p.
- Danjon, F. and B. Reubens. 2008. Assessing and analyzing 3D architecture of woody root systems, a review of methods and applications in tree and soil stability, resource acquisition and allocation. *Plant and Soil* 303: 1–34.
- Davis, A. S. and Jacobs, D. F. 2005. Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forest*. 30:295-311.
- De Boodt, M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Hort*. 37: 2054-2062.
- Duryea, M.L. 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. *In: M.L. Duryea (Ed.)*. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive



abilities of major tests. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR, USA.

Hair, J. F., R. E. Anderson, R. L. Tatham, and W. C. Black. 2007. Análisis multivariante. 5a. ed. Prentice Hall Iberia. Madrid, España. 828 p.

Hodge, A. 2009. Root decisions. *Plant, Cell and Environment*. 32: 628-640.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2015. Red nacional de estaciones meteorológicas. <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>. (07 Enero de 2015).

Landis, T. D., D. F. Jacobs., K. M. Wilkinson., T. Luna. 2014. Growing Media. *In*: Wilkinson, K. M, Landis, T. D., Haase, D. L., Daley, B. F., Dumroese, R. K. (Eds.). Tropical Nursery Manual, A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture Handbook 732. pp: 101-121.

Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald and J.P. Barnett. 1990. Containers and growing media. The Container Tree Nursery Manual. Volume 2. Manual USDA Forest Service, Washington. 87 p.

Landis, T.D. and N. Morgan. 2009. Growing media alternatives for forest and native plant nurseries. *In*: Dumroese, R.K., Riley, L.E. (Tech. Coords.) National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2008. Proc. RMRS-P-58. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp: 26–31.

Lynch, J. 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology* 109: 7-13.

Martínez, P.F. y D. Roca. 2011. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En: Flórez R., V.J. (Ed.). Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp: 37-77.

- Pastor, S. J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana*. 17(3): 231-235. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317307>> ISSN (6 abril de 2015).
- Peñuelas R., J.L. y L. Ocaña B. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.190 p.
- Sherry, A. and R. K. Henson. 2005. Conducting and interpreting canonical correlation analysis in personality research: A user-friendly primer. *Journal of Personality Assessment* 84:37-48.
- 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. *For. Ecol. Manage.* 204: 385–398.
- Spanos, I., P. Ganatsas and Y. Raftoyannis. 2008. The root system architecture of young greek fir (*Abies cephalonica* London) trees. *Plant Biosyst.* 142:1-6.
- Tsakalimi, M. 2009. A comparison of root architecture and shoot morphology between naturally regenerated and container-grown seedling of *Quercus ilex*. *Plant and Soil* 324:103-113.
- Warncke, D.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *Hort. Sci.* 21:223-225.
- Wullschleger, S. D., J. P. Lynch and G. M. Berntson. 1994. Modeling the below ground response of plants and biota edaphic and climatic change- what can we expect to gain? *Plant and Soil* 165:149-160.

## CAPÍTULO IV.

### SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG. BAJO DIFERENTES TRATAMIENTOS EN PLANTACIÓN

#### RESUMEN

La supervivencia y el establecimiento de las plantas en campo están condicionadas por las características fisiológicas y morfológicas de la especie en combinación con los factores ambientales. En este trabajo se evaluó la supervivencia y el crecimiento de las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. que fueron producidas en vivero bajo once tratamientos formados por cinco mezclas de sustratos, dos tamaños de contenedor y un testigo. El experimento se estableció en campo con un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Las variables evaluadas fueron supervivencia, crecimiento en altura y diámetro, así como la tasa relativa de crecimiento para esas dos variables después de 17 meses en campo. Los resultados del análisis de varianza en el tiempo mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en todos los tratamientos. Las plantas producidas en la mezcla formada por de fibra de coco, vermiculita y de agrolita en proporción 5:3:2 en contenedor de 1 L, presentaron el mayor porcentaje de supervivencia a los 17 meses después de establecidas en campo. Las plantas producidas en el contenedor de 2 L, en combinación con la mezcla formada por 25 % de cachaza y 75 % de cascarilla de café composteadas presentaron el mayor crecimiento en altura y diámetro. Con respecto a la tasa relativa de crecimiento en altura los tratamientos formados por compostas en diferentes porcentajes presentaron la mejor eficiencia en crecimiento, mientras que la mezcla formada con 50 % de turba y la formada con 75 % de cachaza presentaron los mayores valores para el diámetro.

Palabras clave: crecimiento, compostas, *Hevea brasiliensis*, supervivencia, fibra de coco.

## **SURVIVAL AND GROWTH *Hevea brasiliensis* MÜLL.ARG UNDER DIFFERENT PLANTING TREATMENTS**

### **ABSTRACT**

The survival and establishment of plants in the field are conditioned by the physiological and morphological characteristics of the species in combination with environmental factors. In this study, survival and growth of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. plants that were produced in nurseries under eleven treatments consist of five mixtures of substrates, two sizes of container and a control was evaluated. The experiment was established in the field with an experimental design of randomized complete block with five replications. The variables evaluated were survival, growth in height and diameter, and the relative growth rate for these two variables after 17 months in the field. The results of analysis of variance over time showed significant differences ( $p < 0.05$ ) in all treatments. Plants grown in mixture of coir, vermiculite and perlite in proportion 5: 3: 2 in 1 L container, showed the highest survival rate at 17 months after established in the field. Plants grown in the container of 2 L, in combination with the mixture of 25% of rum and 75% composted coffee hulls showed the highest growth in height and diameter. Concerning the relative growth rate in height formed by composting treatment in different percentages presented the best growth efficiency, while the mixture of 50% peat and 75% formed filter cake showed the highest values for the diameter.

Keywords: growth, compost, *Hevea brasiliensis*, survival, coir.

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

El árbol del hule, *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. pertenece a la familia Euphorbiaceae y es un importante cultivo comercial que se establece principalmente para la producción de látex, y como producto secundario la madera. Es la principal especie arbórea que se cultiva comercialmente para la industria del hule ya que suministra más del 99 % del consumo mundial de hule natural (De Burger *et al.*, 1995). Se utiliza para la producción de más de 40,000 productos, incluyendo 400 dispositivos médicos (Mooibroek y Cornish, 2000), pero la mayor demanda es de la industria llantera. Es una materia prima insustituible debido a su estructura molecular y de alto peso molecular (> 1 millón de daltons) que le dan la capacidad de elasticidad, resistencia a la abrasión y al impacto, características que no se pueden obtener fácilmente con polímeros artificiales (Priyadarshan *et al.*, 2009). Se cultiva en las zonas tropicales húmedas que por lo general presentan condiciones propicias para el establecimiento de plantaciones comerciales principalmente en lugares con lluvias bien distribuidas y precipitación promedio anual de 1450 a 3000 mm (Compagnon, 1998; INIFAP, 2008; Priyadarshan *et al.* 2009). La calidad de los materiales es la columna vertebral de cualquier cultivo de plantación. Esto es más pertinente en el hule teniendo en cuenta su largo período pre-productivo (5 a 9 años) y la vida económica productiva. Por eso en el cultivo del hule se establecen materiales de alto rendimiento injertadas de acuerdo a la zona de plantación, que ofrezcan los mejores rendimientos y que reduzcan el tiempo de preproducción (Priyadarshan *et al.*, 2009; Ribeiro y Cassia, 2002).

El hule en México es uno de los cultivos con gran potencial, ya que reúne todos los requisitos para desarrollarse sustentablemente en lo ambiental, social y económico. Permite la recuperación de suelos con diferentes niveles de degradación. El cultivo requiere de una gran cantidad de mano de obra y es accesible al pequeño productor, en sistemas de bajo costo en sistemas agroforestales. Sin embargo, aún es incipiente la información sobre el comportamiento de la especie bajo diferentes formas de producción, tamaños de contenedor, sustratos y en general estándares de calidad de planta. El conocimiento del desempeño de la especie tanto en vivero como en plantación, permitirá establecer plantaciones con mayor tasa de supervivencia, mejor desempeño y rendimiento, mejorando la rentabilidad del cultivo y fomentando el

establecimiento de las plantaciones. En ese sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento y supervivencia en plantación de las plantas injertadas de *H. brasiliensis* producidas en 11 tratamientos de sustratos en vivero. El trabajo es la continuación del experimento descrito en el Capítulo II de esta tesis.

## **4.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.2.1. Ubicación del experimento**

El experimento se estableció en el Campo Experimental “El Palmar” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el municipio de Tezonapa, Ver., localizado en el kilómetro 16 de la carretera municipal Tezonapa-Palmar (18° 31' 13" N y 96° 47' 40" O, 180 m de altitud). La temperatura media anual de la región es de 24°C. En el periodo que va de 2009 a 2014 se registró una precipitación de 11,390 mm, equivalente a 1,898 mm anuales, en la estación invernal se observó una precipitación promedio de 43 mm durante un periodo de cinco años (2009-2013) (INIFAP, 2015).

La planta que se utilizó en el experimento se produjo en dos tamaños de contenedor y cinco mezclas de sustratos, con un testigo en bolsa de plástico y tierra como sustrato. Estas plantas fueron evaluadas en el experimento de sustratos y contenedores que se describe en el Capítulo II. El terreno se preparó retirando las malezas con el pasó de una rastra para remover el suelo, posteriormente se realizó el trazado y balizado. Las plantas se establecieron bajo un diseño de marco real con una distancia de 6 m entre filas y 3 m entre plantas.

### **4.2.2. Establecimiento y diseño experimental**

En noviembre de 2012 se estableció en campo el experimento, se distribuyeron 11 tratamientos en un arreglo factorial bajo un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones por tratamiento. En cada bloque se establecieron 10 plantas por cada tratamiento Para evitar el efecto de orilla en el perímetro de todo el experimento se colocó una hilera de plantas (bordo). En el Cuadro 4.1 se describen los tratamientos establecidos en campo.

Cuadro 4.1. Descripción de los tratamientos establecidos en campo de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. producidas en diferentes sustratos y tamaños de contenedor.

Tratamientos	Tamaño de contenedor	Sustratos			
		Turba (%)	Fibra de coco (%)	Vermiculita y agrolita (%)	Compostas de cachaza y cascarilla de café (%)
T1	1.5 L	50		30 + 20	
T2	1.5 L		50	30 + 20	
T3	1.5 L				75 + 25
T4	1.5 L				50 + 50
T5	1.5 L				25 + 75
T6	2.0 L	50		30 + 20	
T7	2.0 L		50	30 + 20	
T8	2.0 L				75 + 25
T9	2.0 L				50 + 50
T10	2.0 L				25 + 75
T11 (Testigo)	Bolsa de polietileno negro (5 L)	100 % tierra			

#### 4.2.3. Variables evaluadas

Los muestreos se realizaron a los 4 y 7 meses, después los datos se tomaron cada dos meses hasta los 17 meses, ocho muestreos en total. Las variables evaluadas fueron: supervivencia, se contaron plantas vivas y muertas en cada tratamiento, codificando 0=muertas 1=vivas.

En los primeros nueve meses la altura se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, pero en los siguientes muestreos se midió hasta donde terminó la copa. El diámetro se midió con un vernier en la base del tallo. Las tasas relativas de crecimiento en altura y diámetro se determinaron con la fórmula

$$TRC = \frac{\ln(\text{Variable 2}) - \ln(\text{Variable 1})}{\text{Tiempo 2} - \text{Tiempo 1}}$$



#### 4.2.4. Análisis estadístico

El análisis de supervivencia se realizó mediante un modelo de regresión logística binaria, (Hosmer y Lemeshow, 2000), que permite evaluar el efecto de un conjunto de variables independientes o explicativas en una variable de respuesta con distribución binomial.

$$P = \frac{1}{1 + e^{(a-bx)}}$$

Donde:

P = probabilidad de mortalidad, e = base de los logaritmo natural (2.7182), a, b = parámetros del modelo, x =variable dependiente.

El análisis de varianza para el crecimiento se realizó con el modelo estadístico de medidas repetidas, mediante el Proc Mixed del programa estadístico SAS (Littell *et al.*, 1996).

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + \beta T_{ij} + t_k + T t_{jk} + \epsilon_{ijk}$$

Donde  $\mu$  es la media general,  $\beta_i$  es el efecto del bloque,  $T_j$  es el efecto de los tratamientos,  $t_k$  es el efecto del tiempo y  $\epsilon_{ijk}$  es el error experimental y las interacciones de los factores  $\beta T_{ij}$ , y  $T t_{ij}$ .

Así también, mediante un análisis de varianza, se realizó una comparación entre tratamientos del último muestreo para determinar el mejor al final del experimento.

### 4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.3.1. Supervivencia

En el análisis de supervivencia de *H. brasiliensis* los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>6</sub>, no tuvieron efecto supervivencia, mientras que los ocho restantes presentaron algún efecto. Los valores estimados de los parámetros indican el aumento o disminución de la tasa de supervivencia con respecto a modelo (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Significancia de la supervivencia en plantación ( $p > 0.05$ ) de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg.

Tratamientos	Estimado	P-valor
Intercepto	-4.2455	0.0004
T1	0.1768	0.3200
T2	-1.8261	0.0001
T3	0.0090	0.9652
T4	1.1234	0.0001
T5	-0.8809	0.0002
T6	0.1451	0.4380
T7	0.4170	0.0392
T8	1.4089	0.0001
T9	0.4317	0.0165
T10	0.5065	0.0044
T11	0.4607	0.0714

Los resultados de la supervivencia muestran que en los primeros siete meses se concentró el mayor porcentaje de mortandad de las plantas. De acuerdo con las condiciones agroclimáticas de la zona, en marzo, abril y mayo, las lluvias disminuyen considerablemente (Inifap, 2015), y en esa etapa las plantas estaban en el procesos de adaptación al sitio (3 meses de edad), por lo que, la disminución de precipitaciones en el periodo de establecimiento es un componente de alto riesgo para la supervivencia (Alloza y Vallejo, 1999). Con excepción de los tratamientos 4 y 8, en los demás tratamientos a los 11 meses los porcentajes de supervivencia se mantuvieron estables, lo cual indica que una vez que las plantas han sobrevivido al periodo de estiaje y pasado la temporada de lluvias, los porcentajes de mortandad disminuyen considerablemente. Navarro *et al.* (2006) comenta que el periodo de establecimiento es variable, aunque generalmente se acepta que tiene una duración básica de dos años, con mayor importancia del primero. El T<sub>2</sub> formado principalmente por fibra de coco presentó el mayor porcentaje de supervivencia (98 %), fue 36 % mayor que el T<sub>8</sub> que con el menor porcentaje de plantas vivas (62 %). El T<sub>5</sub> con 96 % de plantas vivas solo fue 2 % abajo del T<sub>2</sub>. Los tratamientos T<sub>7</sub>, T<sub>11</sub>, T<sub>6</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>9</sub> y T<sub>10</sub> estuvieron dentro del

80 y 90 % de supervivencia y los T<sub>4</sub> y T<sub>8</sub> presentaron los menores porcentajes con 71 y 62 % respectivamente. El testigo (T<sub>11</sub>) obtuvo 90 % de plantas vivas, 5 % por arriba del promedio general (85 %). El tratamiento T<sub>1</sub> considerado como punto de comparación entre los tratamientos en contenedor su porcentaje (85 %) estuvo dentro del promedio (Figura 4.1).

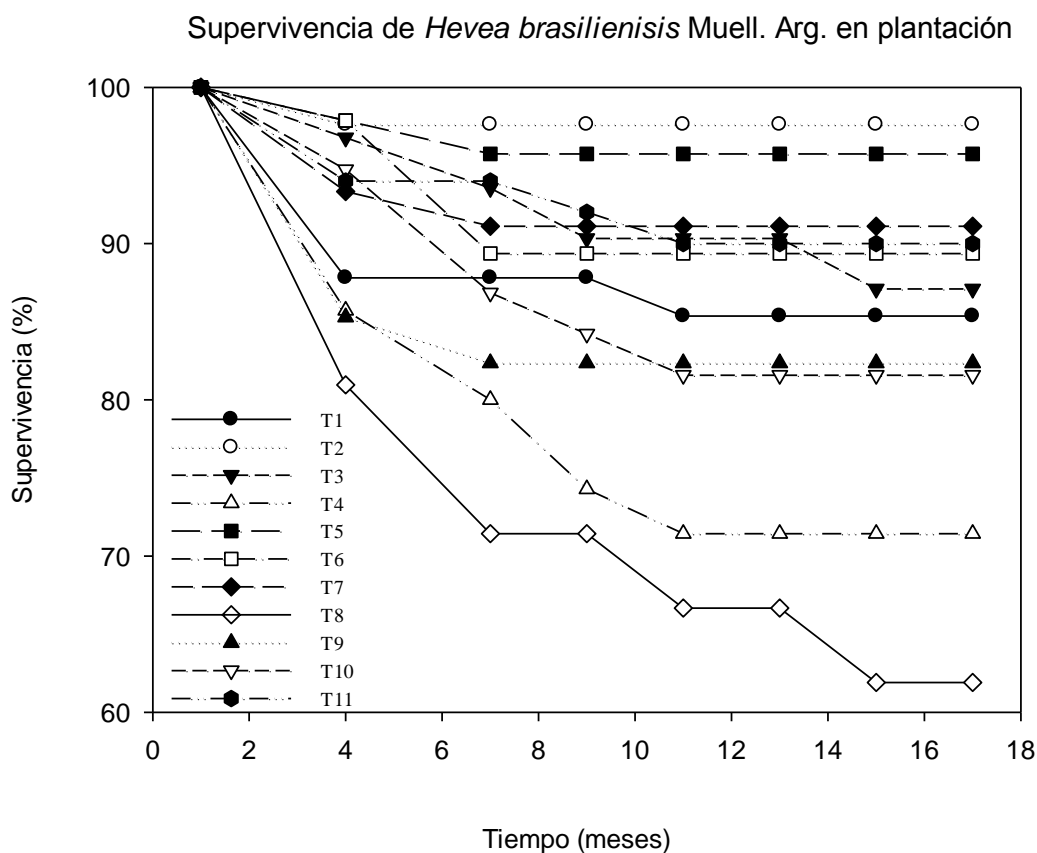


Figura 4.1. Porcentajes de supervivencia de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en plantación bajo diferentes mezclas de sustratos y tamaños de envase

### 4.3.2. Crecimiento

Los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas realizado para las ocho fechas de muestreo muestran diferencias significativas ( $p \leq 0.005$ ) en los factores evaluados. Para las variables altura, TRCALT y diámetro la significancia entre tratamientos y factores es evidente, no así para la TRCDIA (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3. Análisis de varianza de las variables de crecimiento de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. producidas bajo diferentes mezclas de sustratos y tipos de envase.

Factor	Altura		Diámetro	
	Altura	TRCALT	Diámetro	TRCDIA
Tratamiento	0.0001	0.0001	0.0001	0.1696
Bloque	0.0001	0.0002	0.0001	0.1254
Tiempo	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Tratamiento*Bloque	0.0001	0.0001	0.0001	0.8592

TRCALT: tasa relativa de crecimiento en altura, TRCDIA: tasa relativa de crecimiento en diámetro.

La comparación de medias en las diferentes edades de las plantas muestra que al inicio de la plantación la altura del T<sub>11</sub> fue 54 % mayor que las plantas del T<sub>3</sub> con menor tamaño (mes 1). La tendencia de mayor altura de las plantas del T<sub>11</sub> (testigo) se mantuvo hasta los 7 meses después las diferencias con los demás tratamientos disminuyeron en los siguientes meses. A los 9 meses de crecimiento todos los tratamientos estuvieron por arriba de 1.30 m de altura y los tratamiento 9, 10 y 11 presentaron los mayores crecimientos (todos 1.60 m), 16 % más altos que los tratamientos 3 y 8 (1.33 y 1.38 m). A los 11 meses de edad con excepción del T<sub>3</sub>, en todos los tratamientos las plantas rebasaron los 2 m de altura, y los tratamientos 4, 9 y 10 obtuvieron el mayor crecimiento con 2.19, 2.24 y 2.23 m, respectivamente y el T<sub>3</sub> presentó el menor crecimiento con 1.85 m. A los 13 meses no se presentaron

diferencias estadísticas entre tratamientos, sin embargo los tratamientos 1, 8, 9, 10 y 11 rebasaron los 2.50 m de altura. A los 15 meses el T<sub>9</sub> alcanzó la mayor altura (3.02 m), plantas 21 % más altas que las del T<sub>3</sub> (2.38 m). A los 17 meses después del establecimiento, las plantas del T<sub>9</sub> presentaron la mayor altura (3.21 m) con 20 % más que el T<sub>3</sub> que presentó el menor crecimiento (2.56 m), entre los demás tratamientos las diferencias no fueron evidentes (Cuadro 4.4).

A los 17 meses después del establecimiento de la plantación, el mayor crecimiento en altura se presentó en el T<sub>9</sub> compuesto por 25 % de cachaza y 75 % cascarilla de café compostadas con 3.21 m, seguido del T<sub>11</sub> (testigo) con 3.09 m, pero éste no fue diferente de los tratamientos 1 (50 % turba) y 4 (50 % de compostas), con 3.01 y 3.03 m respectivamente (Cuadro 4). Estos crecimientos están 35 % por debajo de los reportados en Colombia con el mismo clon IAN-710, donde a los 12 meses alcanzaron una altura de 4.97 m (Vélez y Nieto, 2013). Diferentes autores coinciden en que aparte del manejo que se le da a la plantación, el crecimiento y rendimiento de los árboles de hule dependen del genotipo, condiciones climáticas y del suelo, principalmente la humedad, determinante para la absorción de nutrientes que se da en la capa superficial en la época de lluvias y en las capas más profundas en la temporada de escases de agua (Goncalves, 2001; Sanjeeva *et al.*, 1998). En general en el crecimiento de las plantas bajo los 11 tratamientos no se observa una tendencia específica por grupo de tratamientos, por el tamaño de contenedor o por las mezclas de sustratos composteadas y no composteadas (turba y fibra de coco).

Cuadro 4.4. Comparación de medias entre 11 tratamientos de producción de planta en diferentes tamaños de envase y sustratos en ocho muestreos para la altura total de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en plantación.

Tratamientos	Mes 1	Mes 4	Mes 7	Mes 9	Mes 11	Mes 13	Mes 15	Mes 17
T1	0.126 bcd	0.275 bc	0.910 abc	1.52 ab	2.16 ab	2.51 a	2.83 ab	3.01 ab
T2	0.128 bcd	0.314 bc	0.956 abc	1.48 ab	2.14 ab	2.46 a	2.77 ab	2.96 ab
T3	0.102 d	0.250 cd	0.769 d	1.33 b	1.85 b	2.08 a	2.38 ab	2.56 c
T4	0.116 cd	0.296 bc	0.932 abc	1.51 ab	2.19 a	2.50 a	2.79 ab	3.03 ab
T5	0.134 bcd	0.306 bc	0.906 abc	1.46 ab	2.02 ab	2.33 a	2.60 bc	2.79 bc
T6	0.136 bcd	0.272 bc	0.871 bcd	1.43 ab	2.05 ab	2.42 a	2.76 ab	2.94 ab
T7	0.136 bcd	0.330 ab	0.928 abc	1.47 ab	2.07 ab	2.49 a	2.79 ab	2.98 ab
T8	0.134 bcd	0.218 d	0.800 cd	1.35 b	2.06 ab	2.54 a	2.83 ab	2.96 ab
T9	0.152 b	0.340 ab	0.998 cd	1.61 a	2.24 a	2.68 a	3.02 a	3.21 a
T10	0.157 b	0.336 ab	0.983 ab	1.60 a	2.23 a	2.66 a	2.99 ab	3.17 ab
T11	0.224 a	0.394 ab	1.036 a	1.60 a	2.16 ab	2.57 a	2.92 ab	3.09 ab

Diferentes letras en la columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La descripción de los tratamientos se presenta en el Cuadro 4.1.

La gráfica del crecimiento en altura muestra que los primeros 11 meses las plantas crecieron más rápido (60 cm en promedio), que en los 6 meses restantes donde el crecimiento fue de 28 cm en promedio para todos los tratamientos (la descripción de los tratamientos se muestran en el Cuadro 4.1). Así también, se observa que los tratamientos 3 y 5 tuvieron un crecimiento menor a partir de los 9 y 11 meses respecto a los demás tratamientos (Figura 4.2)

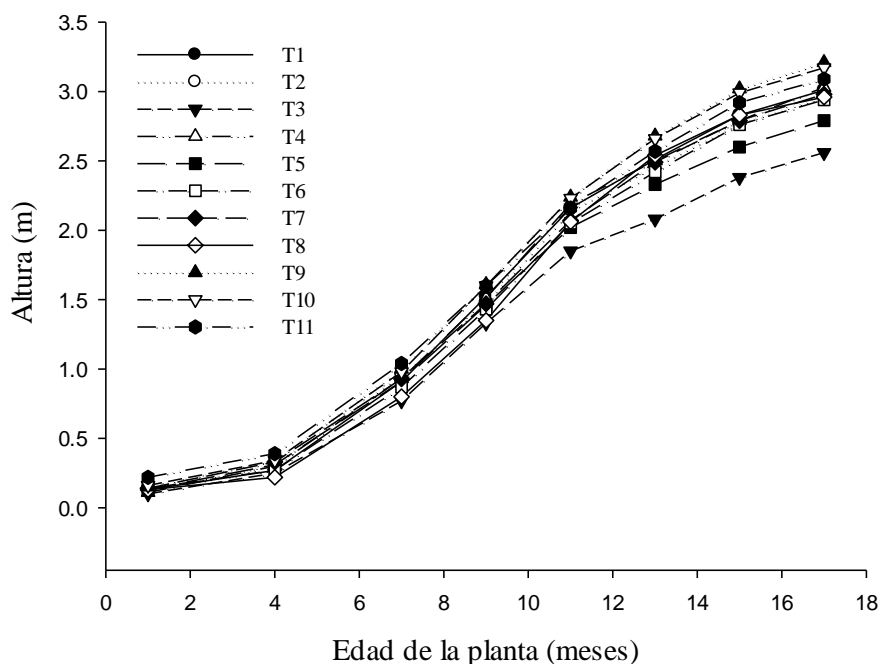


Figura 4.2. Crecimiento en altura de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. establecidas en campo bajo 11 tratamientos de diferentes tipos de envase y combinaciones de sustratos

#### 4.3.3. Diámetro

Los resultados del crecimiento en diámetro de las plantas de *H. brasiliensis*, indican que al inicio de la plantación el testigo presentó el mayor crecimiento en diámetro (0.57 cm), 20 % más que el T<sub>3</sub> con el menor valor (0.49 cm). El comportamiento de esta variable a los 4 meses indica que el T<sub>11</sub> continuó siendo el tratamiento con mayor crecimiento (0.86 cm), con 25 % y 24 % más diámetro que T<sub>8</sub> y T<sub>6</sub> (0.63 y 0.65 cm) que obtuvieron los crecimientos más bajos, en los demás tratamientos las diferencias no fueron evidentes. Los tratamientos 3 y 8 presentaron los menores crecimientos (1.14 y 1.15 cm), 7 meses después de establecidas las plantas en campo, en comparación con T<sub>9</sub>, T<sub>10</sub> y T<sub>11</sub> (1.33, 1.32 y 1.39 cm). Hacia los 9 meses de edad, las plantas de los tratamientos que mostraron mayor crecimiento fueron el T<sub>9</sub> (2.17 cm), T<sub>10</sub> (2.13 cm), T<sub>11</sub>

(2.16 cm), y los tratamientos con menor diámetro fueron T<sub>3</sub> y T<sub>6</sub> con 1.78 y 1.94 cm, respectivamente. A los 11 meses de edad el T<sub>9</sub> continuó presentando el mayor crecimiento en diámetro (2.86 cm) con respecto a los demás tratamientos, fue 20 % mayor que el T<sub>3</sub> (2.27 cm) que continuó presentando los menores valores, entre los demás tratamientos todos estuvieron por arriba de 2.50 cm de diámetro. Trece meses después de establecida la plantación en casi todos los tratamientos las plantas rebasaron los 3.0 cm de diámetro con excepción de los tratamientos T<sub>3</sub> y T<sub>5</sub> (2.69 y 2.98 cm), los tratamientos 9, 10 y 11 presentaron los mayores valores. Esa misma tendencia se presentó a los 15 y 17 meses de edad de las plantas, los tratamientos 9, 10 y 11 continuaron presentando los mayores crecimientos, mientras que el T<sub>3</sub> presentó los menores valores.

Los tratamientos con menor porcentaje de cachaza y mayor porcentaje de cascarilla de café, en contenedores de 2 L (T<sub>9</sub> y T<sub>10</sub>), así como el testigo (bolsa de 5 L y tierra) fueron consistentes a lo largo del experimento con el mayor crecimiento en diámetro, mientras que el T<sub>3</sub> formado por el mayor porcentaje de cachaza y en contenedor de 1.5 L, presentó el menor crecimiento durante el tiempo de la evaluación del experimento (Cuadro 4.5). El crecimiento en diámetro a los 13 meses en todos los tratamientos fue menor al reportado por Vélez y Nieto (2013), para el clon IAN-710 evaluado en Colombia con 6.48 cm, así también Sterling y Correa (2010), reportaron para el mismo clon crecimientos que van de 8 a 12 cm en Caqueta, Colombia.

A partir de los 9 meses es evidente el crecimiento del T<sub>9</sub> sobresale hasta los 17 meses. Así también, el tratamiento 3 fue consistente desde los 7 meses presentando los menores valores de crecimiento en diámetro hasta el término de la evaluación del experimento (Figura 4.3). Los demás tratamientos en general siguen la misma tendencia de crecimiento.



Cuadro 4.5. Comparación de medias entre 11 tratamientos de diferentes tipos de envase y combinaciones de sustratos en ocho muestreos para el diámetro de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en plantación.

Tratamientos	Mes 1	Mes 4	Mes 7	Mes 9	Mes 11	Mes 13	Mes 15	Mes 17
T1	0.509 abc	0.735 bc	1.24 abcd	1.99 ab	2.52 bc	3.04 b	3.36 bc	3.78 ab
T2	0.514 abc	0.746 bc	1.29 abcd	2.00 ab	2.55 abc	3.08 b	3.38 bc	3.76 ab
T3	0.459 c	0.679 bc	1.14 d	1.78 b	2.27 bc	2.69 bc	3.01 bc	3.36 c
T4	0.489 bc	0.709 bc	1.26 abcd	2.03 ab	2.68 abc	3.26 ab	3.54 ab	3.86 ab
T5	0.509 abc	0.679 bc	1.23 abcd	1.96 ab	2.51 bc	2.98 bc	3.34 bc	3.62 bc
T6	0.505 abc	0.652 c	1.21 bcd	1.94 ab	2.55 bc	3.11 b	3.47 ab	3.80 ab
T7	0.542 ab	0.747 bc	1.31 abc	2.01 ab	2.60 ab	3.11 b	3.44 ab	3.80 ab
T8	0.477 bc	0.638 c	1.15 cd	1.95 ab	2.65 ab	3.29 ab	3.49 ab	3.76 ab
T9	0.525 abc	0.780 ab	1.33 ab	2.17 a	2.86 a	3.48 a	3.80 a	4.06 a
T10	0.511 abc	0.745 bc	1.32 ab	2.13 a	2.72 ab	3.30 ab	3.67 ab	3.95 ab
T11	0.573 a	0.860 a	1.39 a	2.16 a	2.69 ab	3.29 ab	3.59 ab	3.94 ab

Diferente letra en la columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). La descripción de los tratamientos se presenta en el Cuadro 4.1.

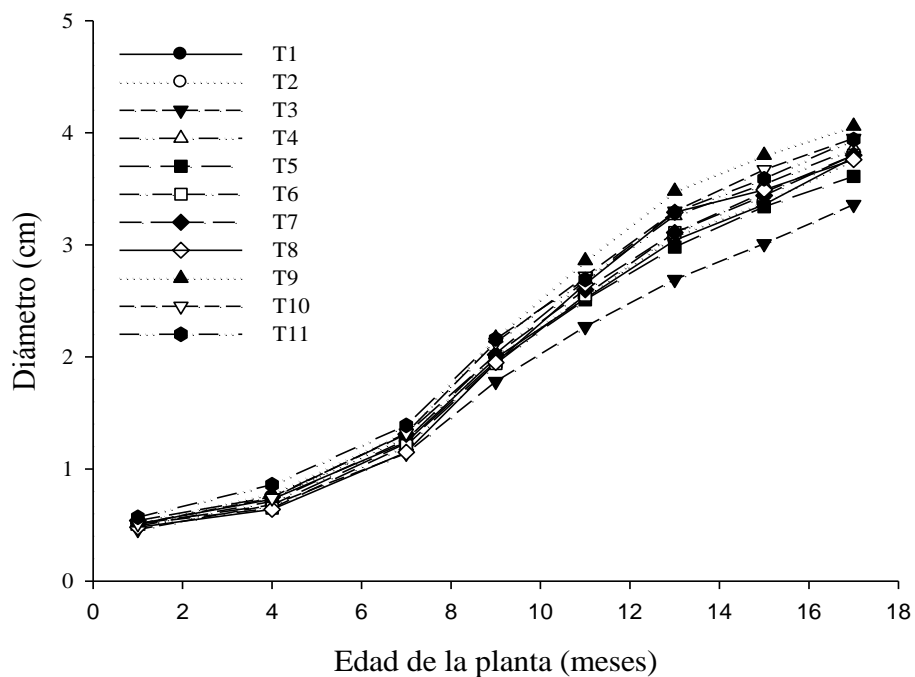


Figura 4.3. Crecimiento en diámetro de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. establecidas en campo bajo 11 tratamientos.

#### 4.3.4. Tasa relativa de crecimiento

El análisis de varianza realizado a los 17 meses después del establecimiento de las plantas en campo indica diferencias significativas entre los factores evaluados para la tasa de crecimiento relativo en altura y diámetro pero no así en la interacción (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6. Análisis de varianza de las variables de crecimiento a los 17 meses después de la plantación.

Factores	TRCALT	TRCDIA
Tratamiento	0.0514	0.0161
Bloque	0.0368	0.0060
Tratamiento*bloque	0.1159	0.2794

TRCALT: tasa relativa de crecimiento en altura, TRCDIA: tasa relativa de crecimiento en diámetro.

En la tasa relativa de crecimiento en altura, a los 17 meses los tratamientos 4 y 3 presentaron los mayores valores, el T<sub>11</sub> considerado como el testigo entre todos los tratamientos, no presentó mayores valores que el T<sub>1</sub> considerado testigo dentro de los tratamientos en contenedor. Así también se puede observar que en la combinación de las mezclas a base de compostas en el contenedor de menor capacidad presentaron mayores valores que cuando se combinaron con el contenedor de 2 L (T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>). El T<sub>8</sub> presentó el menor promedio de TRCALT, mientras que los tratamientos 3 y 4 fueron los de mayor crecimiento (Figura 4.4).

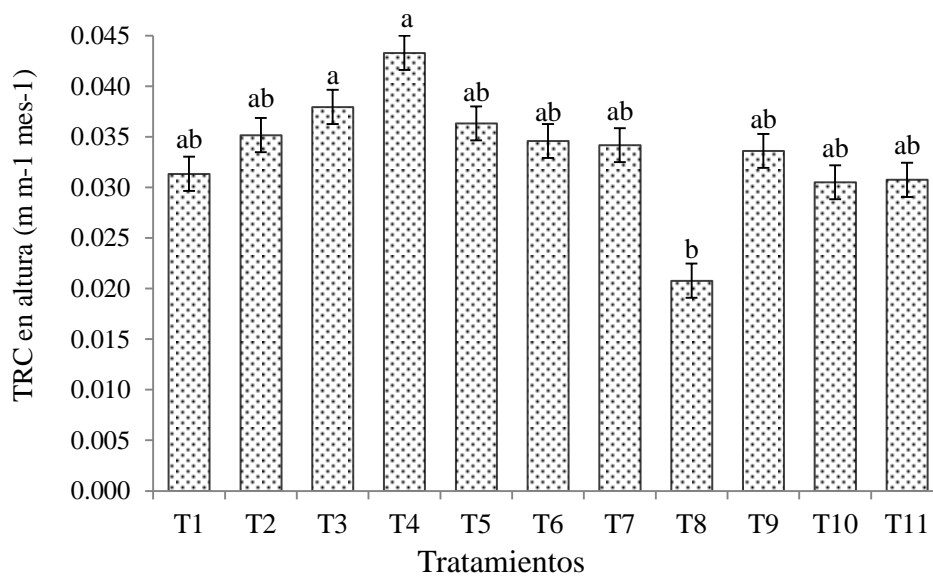


Figura 4.4. Comparación de medias de la tasa de crecimiento relativo (TCR) en altura a los 17 meses después de establecidas las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. producidas bajo diferentes tipos de envase y combinaciones de sustratos

Con relación al diámetro la TRC para esta variable, los tratamientos 8, 9 y 10 presentaron la menor TRC, mientras que el tratamiento 1 mostró la mejor eficiencia para el crecimiento del diámetro, seguido del T<sub>3</sub>, T<sub>7</sub> y T<sub>11</sub> (testigo). La mayor eficiencia de las plantas se da en los primeras etapas de crecimiento y con el tiempo esta disminuye (Clavijo, 1989), por lo que en la TCRDIA en algunos tratamientos a los 17 meses esta empieza a disminuir (Figura 4.5).

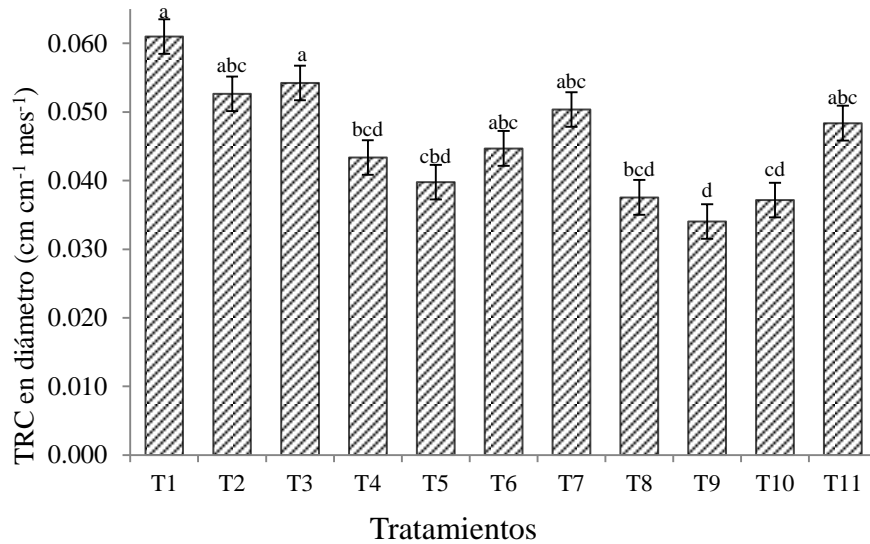


Figura 4.5. Comparación de medias de la tasa de crecimiento relativo (TRC) en diámetro a los 17 meses después de establecidas las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. producidas bajo diferentes tipos de envase y mezclas de sustratos

Los contenedores, el sustrato y en general el sistema de producción repercuten considerablemente en la supervivencia y crecimiento de las plantaciones. Los tratamientos con mayor porcentaje de cachaza compostada (50 y 75 %) presentaron los menores porcentajes de supervivencia. Estas mezclas en los análisis físico-químicos realizados (Capítulo III), presentaron altos niveles de conductividad eléctrica y densidad aparente y bajos porcentajes porosidad total, dichas características afectan el crecimiento del sistema radical y como consecuencia el anclaje de las plantas en campo (Landis *et al.*, 1990; Ansorena, 1994; Heiskanen, 1999). Sin embargo, las propiedades de las mezclas por si solas no fueron las responsables de la baja supervivencia, toda vez que esas mismas mezclas pero en diferentes tamaños de contenedor presentaron porcentajes por arriba del 80 %. La combinación de las características de las mezclas con la disminución de lluvias y aumento de temperatura influyeron en el porcentaje de supervivencia.

Las plantas producidas en el tratamiento con 50 % de fibra de coco, 30 % de vermiculita y 20 % de agrolita en combinación con el contenedor de 2 L, presentaron los mayores crecimientos en altura y diámetro, este comportamiento está relacionado

con las propiedades de la fibra de coco, ya que esa misma mezcla pero en el contenedor de menor tamaño presentó crecimientos muy cercanos en ambas variables. Las tasa relativa de crecimiento en altura y diámetro fueron discrepantes mientras la mayor tasa en altura se presentó en los tratamientos con mayor porcentaje de cachaza en combinación con el contenedor de 1.5 L, la mayor tasa en diámetro se presentó en la mezcla con 50 % de turba. Toda vez, que los resultados son incipientes para la especie en cuestión, es importante continuar con las evaluaciones con diferentes sustratos, tamaños de contendor y su posterior evaluación en campo.

#### **4.4. CONCLUSIONES**

Más que el contendor el sustrato fue determinante en el crecimiento de las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. La cachaza compostada puede utilizarse para la producción de plantas pero el porcentaje en la mezcla debe ser 50 % o menor: La fibra de coco mostró mejor desempeño como sustrato que la turba para la supervivencia y crecimiento en campo de las plantas de hule.

Las plantas que presentaron las tallas más grandes no presentaron los mejores porcentajes de supervivencia de crecimiento.

En términos generales los crecimientos en los distintos tratamientos indican que con el tiempo los tamaños de las plantas se igualan y los efectos de los tratamientos tienden a desaparecer.

#### 4.5. LITERATURA CITADA

- Alloza, J.A. y R. Vallejo. 1999. Relación entre las características meteorológicas del año de plantación y los resultados de las repoblaciones. *Ecología* 13: 173-187.
- Ansorena, J. 1994. *Sustratos. Propiedades y Caracterización*. Mundi Prensa, Madrid, España. 172 p.
- Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. *Revista Comalfi* 15: 12-16.
- Compagnon, P. 1998. *El caucho Natural, biología-cultivo-producción*. Consejo Mexicano del Hule-CIRAD. México, D.F.
- De Burger, K., V. Haridasan, H.P. Smit, R.G. Unni, and W. Zant. 1995. *The Indian Rubber Economy: History, Analysis and Policy Perspectives*. New Delhi: Manohar Publishers. 233 p.
- Goncalves, P. S., N. Bartonelo, E. L. Furtado., R. Sambugaro, and O. C. Bataglia. 2001. Desempenho de clones de siringueira da serie IAC 300 selecionados para a regioao noroeste do Estado de Sao Paulo. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36 (4): 589-599.
- Heiskanen, J. 1999. Hidrological properties of container media based on sphagnum peat and their potential implications for availability of water to seedlings after outplanting. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14:78-85.
- Hosmer, D. W. and S. Lemeshow. 2000. *Applied Logistic Regression*. Wiley. New York. 392 p.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2008. Potencial productivo del hule (*Hevea brasiliensis* Müll Arg.). Agromapas <http://www.agromapas.inifap.gob.mx/>. (07 octubre de 2014).
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2015. Red nacional de estaciones meteorológicas. <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/>. (7 enero de 2015).

- Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 2. Containers and Growing Media. Agric. Handbook 674. USDA Forest Service. Washington, DC. U.S.A. 88 p.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, and R. D. Wolfinger. 1996. SAS system for mixed models. SAS Institute, Cary. NC. 633 p.
- 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, and J. Cortina. 2006. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. Cap. 2. *In: Calidad de Planta Forestal para la Restauración en Ambientes Mediterráneos. Estado actual de conocimientos.* Cortina, J., Peñuelas, J.L., Puértolas, J., Vilagrosa, A., and Savé, R. (Coord.). Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. 191 p.
- Priyadarshan, P.M., P.S. Goncalves, and K.O. Omokhafa. 2009. Breeding *Hevea rubber*, Chapter 13. *In: Breeding Plantation Tree Crops. Tropical Species.* Jain S.M. and Priyadarshan P.M. (eds.). Rubber Research Institute of India. pp: 469-484.
- Ribeiro, C. y C. E. Cassia. 2002. Desempenho de cinco clones jovens de siringueira na regio do planalto occidental paulista. *Bragantia* 61(3): 237-245.
- Sanjeeva, R. P., C. K. Saraswathyamma, and M.R. Sethuraj. 1998. Studies on the relationships between yield and meteorological parameters of rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Agricultural and Forest Meteorology* 90: 235-245.
- Sterling, C. A. y D. J. Correa. 2010. Desempeño de una colección clonal de caucho en periodo de inmadurez en la Amazonia Colombiana. *Revista Ingenierías y Amazonia* 3 (1): 16-27.
- Vélez S., D. y V. Nieto R. 2013. Desempeño inicial de los clones de caucho en el municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia. *Colombia Forestal* 16(2): 186-199.



## CAPÍTULO V

### CRECIMIENTO DE *Hevea brasiliensis* MÜLL. ARG. EN RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN EN CONTENEDOR

#### RESUMEN

El manejo que se le dé a la planta en vivero será determinante para su establecimiento en el sitio de plantación. La fertilización es una de las prácticas de vivero que influyen de manera determinante en la calidad de la planta. Con el propósito de determinar el crecimiento de las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero, se evaluaron 12 tratamientos con diferentes formulaciones y concentraciones de fertilizantes hidrosolubles, liberación controlada y granulado. Las plantas se produjeron en contenedores de 1.5 L de capacidad con un sustrato formado por compostas de cachaza y cascarilla de café compostados. El experimento se estableció en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones, las variables evaluadas fueron altura, diámetro, longitud y número de raíces de primer orden y la asignación de biomasa del follaje y la raíz. A los siete meses después del trasplante el análisis de medidas repetidas mostro un efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) de los tratamientos en todas las variables. El tratamiento con fertilizante de liberación controlada en combinación con el foliar presentó los mayores crecimiento en todas la variables, en la altura fue 24 % y en diámetro 18 % mayor que en el tratamiento con fertilizante granulado triple 16 (testigo), y en las variables de biomasa de tallo y raíces también fue superior. Es posible el crecimiento de plantas de hule producidas en contendor con fertilizante de liberación controlada complementado con la fertilización foliar en sustitución del fertilizante granulado triple 16.

Palabras clave: biomasa, crecimiento, fertilizantes, foliar, hidrosoluble, *Hevea brasiliensis*.

## **GROWTH OF *Hevea brasiliensis*. MUELL. ARG IN RESPONSE TO FERTILIZATION IN CONTAINER**

### **ABSTRACT**

Managing to be given to the plant nursery will be decisive for its establishment in the planting site. Fertilization is one of the nursery practices that have a determining influence on the quality of the plant. In order to determine the plant growth of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. In nurseries, 12 treatments with different formulations and concentrations of water soluble fertilizers, controlled release granules were evaluated. Plants were in containers of capacity 1.5 L with a substrate consisting of filter cake composting composted and coffee husk. The experiment was established in a randomized block design with five replicates, the variables were height, diameter, length and number of roots of the first order and biomass allocation of foliage and root. Seven months after transplant repeated measures analysis showed a significant ( $p \leq 0.05$ ) of treatments in all variables. The fertilizer treatment controlled release in combination with the leaf showed the highest growth in all the variables in the height was 24% and diameter 18% higher than in treatment with granular fertilizer triple 16 (control), and the variables biomass of stem and roots was also higher. Possible plant growth container rubber produced in controlled release fertilizer foliar feeding supplemented with replacing the 16 triple granular fertilizer.

Keywords: biomass, growth, foliar fertilizers, water soluble, *Hevea brasiliensis*

## 5.1. INTRODUCCIÓN

La producción de planta de calidad se ha definido por las respuestas de las características fisiológicas y morfológicas al manejo que se le da en vivero, por ello se han determinado indicadores que permiten obtener estándares de calidad para diferentes especies y con su desempeño en campo (Thompson, 1985; Puttonen, 1997). En ese sentido, las prácticas culturales en vivero son determinantes para la obtención de una planta de calidad, entendida ésta como su capacidad para sobrevivir y establecerse en el sitio de plantación (Oliet *et al.*, 2005). El uso de fertilizantes es una de las formas utilizadas para modificar los ciclos de crecimiento de las plantas, la asignación de recursos y, en general, las características de éstas (Rook, 1991). Al respecto, se han realizado diversos estudios para conocer la influencia que la fertilización tiene en el crecimiento y desarrollo de las especies forestales, la mayoría enfocados a mejorar las características de las plantas en busca de la calidad (Puértolas *et al.*, 2003; Villar-Salvador *et al.*, 2004; Oliet, *et al.*, 2008).

El empleo de sustratos artificiales pobres en nutrimentos, pero adecuados por sus características físicas y químicas, hace que el aporte de fertilizantes sea fundamental (Oliet *et al.*, 1999), especialmente cuando la producción se realiza en cavidades donde el volumen limitado de sustrato puede dificultar el crecimiento (Landis, 1990).

Tan importante son las cantidades absolutas de los nutrientes disponibles para las plantas como el equilibrio de estos. El balance de nutrientes adecuado es relativamente consistente entre especies de plantas y se expresa como la proporción entre ellos y con qué velocidad los absorbe la planta. Los fertilizantes son la fuente más común de nutrientes minerales en los viveros de plantas tropicales (Jacobs y Landis, 2014).

Las especies forestales tropicales tienen una dinámica de crecimiento acelerada en sus primeras etapas, pero aquellas especies de semilla pequeña rápido agotan sus reservas y requieren nutrientes antes que aquellas de semilla grande. El hule produce semillas grandes, el perisperma forma la mayor parte de la semilla y contiene almidón y aceites que aportan los nutrientes al embrión hasta la emergencia (León, 1987), y cuando la planta presenta el primer par de hojas verdaderas requiere de minerales para

su crecimiento. Por lo tanto, es imperativo conocer el desarrollo de la especie y evaluar diferentes dosis y tipos de fertilizantes que permitirán la obtención de plantas de calidad. El objetivo del presente trabajo fue evaluar formulaciones y dosis de fertilización en el crecimiento de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. producidas en vivero.

## **5.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.2.1. Ubicación del experimento**

El experimento se estableció en el Campo Experimental “El Palmar” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el municipio de Tezonapa, Ver., localizado en el kilómetro 16 de la carretera municipal Tezonapa-Palmar (18° 31' 13" N y 96° 47' 40" O, 180 m de altitud). La temperatura media anual de la región es de 24°C. En el periodo que va de 2009 a 2014 se registró una precipitación de 11,390 mm, equivalente a 1,898 mm anuales, en la estación invernal se observó una precipitación promedio de 43 mm durante un periodo de cinco años (2009-2013) (INIFAP, 2015).

### **5.2.2. Material biológico**

La semilla se recolectó de las plantaciones de hule dentro del campo y se almacenó a temperatura ambiente hasta el momento de la siembra. La semilla se puso a germinar en un sustrato compuesto de cachaza y cascarilla de café (3:7 vol.) y se cubrió con malla sombra al 50 % a una altura de 1.5 m. En el momento que apareció la radícula, la semilla se trasplantó para iniciar el ensayo; se colocó una semilla por cavidad a una profundidad no mayor al tamaño de la misma y se cubrió con sustrato. Dos meses después se realizaron aplicaciones semanales de fungicida Mancozeb<sup>®</sup> (2 gL<sup>-1</sup>) como preventivo contra *Microcyclus ulei*, y en la época de lluvias se aplicó Benomil<sup>®</sup> (2 g L<sup>-1</sup>) durante siete meses, como preventivo contra los hongos de raíz.

Seis meses después del trasplante se injertaron las plantas; las yemas se obtuvieron de brotes de ocho semanas de edad del clon IAN-710, en el jardín clonal del campo experimental. Se seleccionaron las yemas y se homogeneizó lo más posible el proceso

de injertado. Se retiró el amarre (cubierta con plástico) a las 14-21 días , cuando se observó el brote de la yema, y dos semanas después se eliminó la parte terminal del patrón y el corte se cubrió con pintura para evitar pudriciones; 10 meses después del trasplante las plantas se llevaron a campo.

La mezcla de sustratos que se utilizó para la producción estuvo compuesta de cachaza y de cascarilla de café (1:1); el tamaño del recipiente fue de 1.5 L de capacidad.

A la mezcla se le adicionó el fertilizante de liberación controlada Osmocote Plus<sup>®</sup> (15-9-12) (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O + Mg + elementos menores), con tiempo de liberación de 8 a 9 meses, en dosis de 3.5 y 7 g L<sup>-1</sup> en la mezcla de cachaza y cascarilla de café. A los 30 días después del trasplante se inició la aplicación de los fertilizantes, tres veces por semana para los fertilizantes hidrosolubles (Peters<sup>®</sup>) en sus tres etapas de crecimiento. La fórmula 9-45-15 se aplicó por ocho semanas, la 20-20-20 por 12 semanas y la 4-25-35 durante ocho semanas. El fertilizante triple 16 se aplicó una vez por semana y solo se suspendió tres semanas cuando se realizó el injerto. El fertilizante foliar Gro-green<sup>®</sup> (20-30-10 + elementos menores) se aplicó dos veces por semana y se suspendió durante el injerto, reanudando su aplicación cuando al injerto le brotaron hojas. Los fertilizantes foliares (Peters<sup>®</sup> y Gro-green<sup>®</sup>) se aplicaron por aspersion con una bomba manual.

### **5.2.3. Diseño experimental y tratamientos**

En enero del 2013 se estableció el experimento en un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones, 15 plantas por repetición por tratamiento, haciendo un total de 900 plantas, de las cuales se seleccionaron 10 de cada tratamiento para análisis destructivo en cada muestreo. Los tratamientos estuvieron definidos por el tipo de fertilizante y las dosis aplicadas como se muestra en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Tratamientos de fertilización evaluados en la producción de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en contenedor

Tratamientos	Fertilizante de liberación controlada g L <sup>-1</sup>	Iniciador 9-45-15 ppm	Desarrollo 20-20-20 ppm	Finalizador 4-25-35 ppm	Foliar mL L <sup>-1</sup>	16-16-16 ppm
T1	0	12.5	25	25		
T2	3.5	12.5	25	25		
T3	7	12.5	25	25		
T4	0	25	50	25		
T5	3.5	25	50	25		
T6	7	25	50	25		
T7	0	50	100	100		
T8	3.5	50	100	100		
T9	7	50	100	100		
T10	7	0	0	0		
T11	7	0	0	0	3 mL	
T12 (Testigo)	0	0	0	0	3 mL	2000

#### 5.2.4. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: altura de la planta (ALT), diámetro del cuello de la raíz (DIA), número de raíces primarias (NRP), longitud de la raíz pivotante (LONP), longitud de las raíces primarias (LRP), peso seco del tallo (PST) y peso seco de la raíz (PSR).

Para medir las raíces y la biomasa seca se sacaron las plantas de los contenedores y las raíces de cada planta se lavaron para desprender el sustrato, evitando la pérdida de raíces pequeñas. Las plantas se colocaron en una mesa sobre papel absorbente para eliminar el exceso de agua, las plantas se cortaron para separar el tallo y la raíz, cada parte se colocó en bolsas de papel previamente etiquetadas y se introdujeron en una estufa de secado a 70 °C durante 72 h.

Para el análisis nutrimental se sacaron dos muestras compuesta de hojas de cada tratamiento, las cuales fueron llevadas al laboratorio de fertilidad y nutrición vegetal del Campo Experimental Cotaxtla, INIFAP-Veracruz, donde fueron analizadas y se

determinaron las concentraciones de N y P con diferentes metodologías de acuerdo a los protocolos para cada elemento

### **5.2.5. Análisis estadístico**

El análisis de varianza para el crecimiento se realizó con el modelo estadístico de medidas repetidas del programa estadístico SAS (Littell *et al.*, 1996), con el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + T_j + \beta T_{ij} + t_k + T t_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde  $\mu$  es la media general,  $\beta_i$  es el efecto del bloque,  $T_j$  es el efecto de los tratamientos,  $t_k$  es el efecto del tiempo y  $\varepsilon_{ijk}$  es el error experimental y las interacciones de los factores  $\beta T_{ij}$  y  $T t_{jk}$ .

También se realizó una comparación entre tratamientos del último muestreo para determinar el mejor tratamiento al final del experimento, mediante un análisis de varianza.

### **5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados muestran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos en todas las variables. El factor tiempo fue significativo en todas las características salvo LONR, además la interacción fue significativa para DIA, NRP, PST Y PSR CON  $p < 0.05$  y en LRP con  $p = 0.037$  (Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2. Análisis de varianza para las variables de crecimiento de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. de 10 meses en vivero producidas bajo diferentes regímenes de fertilización.

Factor	ALT	DIA	LONR	NRP	LRP	PST	PSR
Tratamientos	0.0288	0.0043	0.0546	0.0450	0.0643	0.0001	0.0002
Bloque	0.5908	0.8182	0.5162	0.1364	0.0212	0.2166	0.8015
Tiempo	0.0001	0.0001	0.1195	0.0006	0.0001	0.0001	0.0001
Trat*Tiempo	0.2919	0.0490	0.6633	0.0193	0.0837	0.0147	0.0008

ALT: altura de la planta, DIA: diámetro del cuello de la raíz, LONR: longitud de la raíz pivotante, NRP: número de raíces primarias, LRP: longitud de las raíces primarias, PST: peso seco del tallo, PSR: pesos seco de la raíz

Los resultados de la comparación de medias a los siete meses después del trasplante muestran que el T11 que incluyó el fertilizante de liberación controlada más el foliar, presentó el mayor crecimiento en altura (69.7 cm), 24 % más que los tratamientos T7 y T12 con la menor altura (53.1). En diámetro los tratamientos que mejor respuesta tuvieron fueron T9 y T11 con 6.76 y 6.96 mm, respectivamente. En el número de raíces primarias (NRP) el T11 presentó mayor abundancia (47.5), tuvo 32 % más raíces que el T2 que tuvo el menor valor (32.5). Más aún, el tratamiento con 7 g de osmocote® y 3 ml de fertilizante foliar (T11) presentó el mejor desempeño en las variables de biomasa seca de tallo y de raíz con valores de 10.5 g y 2.9 g respectivamente, seguido del T9 con 9.6 g y 2.7 g respectivamente en dichas variables. Los valores en estos tratamientos estuvieron por arriba del tratamiento con fertilizante granulado triple 16 (2000 ppm) más fertilizante foliar (3 mL L<sup>-1</sup>) considerado como testigo (Cuadro 5.3).

En ambos tratamientos (T9 y T11) las plantas asignaron 20 % de sus recursos a la formación de raíces y 80 % al follaje. Sin embargo, es importante mantener el equilibrio entre el consumo de agua y la capacidad de absorción de las raíces, por lo que plantas con un área foliar excesiva podrían tener desventajas en condiciones ambientales principalmente en la época de menor humedad (South *et al.*, 2001).



A los 7 meses de crecimiento, antes del injerto, las plantas que mejor respondieron en todas las variables a los tratamientos fueron las del T11 con solo fertilizante de liberación controlada (7 g L<sup>-1</sup>) y fertilizante foliar (3 ml L<sup>-1</sup>), el T9 formado por las mayores dosis de fertilizante, fue el segundo tratamiento con mejores crecimientos (Cuadro 5.3).

Los fertilizantes hidrosolubles y el granulado aun con varias aplicaciones se lixiviaron y no fueron asimilados del todo por las plantas, mientras que el fertilizante de liberación controlada (Osmocote<sup>®</sup>), tiene la característica de suministrar los nutrimentos de forma gradual, reduciendo la pérdida por lixiviación. Los tratamientos 11 y 9 tuvieron la misma dosis de fertilizante de liberación controlada, la diferencia entre esos tratamientos fueron los hidrosolubles, por lo que la mejor respuesta de las plantas se dio en la dosis de 7 g L<sup>-1</sup> de osmocote<sup>®</sup>. Resultados similares obtuvieron Bustos *et al.* (2008) al evaluar la respuesta de tres especies forestales en contenedor donde los mejores resultados en diámetro, altura y biomasa, se presentaron en los tratamientos con 7.5 kg/m<sup>3</sup> de fertilizante de liberación controlada (Osmocote<sup>®</sup>).

Cuadro 5.3. Valores medios a siete meses después del trasplante de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. creciendo en vivero bajo diferentes regímenes de fertilización

Tratamientos	ALT (cm)	DIA (mm)	LONR (cm)	NRP (No.)	LONRP (cm)	PST (g)	PSR (g)
T1	60.4 ab	6.56 abc	26.8 a	34.4 b	16.8 a	8.4 abc	2.3 abc
T2	56.5 b	6.12 abcd	27.1 a	32.5 b	16.6 a	5.8 bc	1.8 c
T3	61.7 ab	6.51 abc	27.4 a	34.4 b	18.5 a	8.9 abc	2.3 abc
T4	58.0 b	6.35 abcd	27.4 a	39.7 ab	18.5 a	5.5 bc	1.7 c
T5	56.7 b	5.85 bcd	27.6 a	37.8 ab	15.1 a	6.0 bc	1.6 c
T6	57.8 b	6.13 abcd	27.7 a	43.8 ab	15.2 a	7.9 bc	2.2 abc
T7	53.1 b	5.88 bcd	27.5 a	35.2 b	15.6 a	4.8 c	1.5 c
T8	62.0 ab	6.05 abcd	27.2 a	39.2 ab	17.0 a	6.5 bc	1.8 c
T9	63.3 ab	6.76 a	27.6 a	42.2 ab	15.2 a	9.6 ab	2.7 a
T10	57.1 b	5.51 d	28.5 a	35.6 b	16.7 a	5.4 c	1.8 c
T11	69.7 a	6.96 a	27.2 a	47.5 a	17.1 a	10.5 a	2.9 a
T12	53.1 b	5.73 cd	27.1 a	44.4 ab	17.5 a	6.8 b	1.9 c

ALT: altura de la planta, DIA: diámetro del cuello de la raíz, LONR: longitud de la raíz pivotante, NRP: número de raíces primarias, LRP: longitud de las raíces primarias, PST: peso seco del tallo, PSR: pesos seco de la raíz. Letras diferentes indican diferencias con  $p=0.05$ .

Diez meses después del trasplante las plantas alcanzaron la mayor altura del brote en los tratamientos T11 y T3, con 18.3 y 17.3 cm, 26 % mayor altura del primero con respecto a los tratamientos T1, T4 y T10, que presentaron los menores crecimientos. En el diámetro las plantas que mejor respondieron a los tratamientos fueron de los T12, T11 y T3 con 5.45, 5.39 y 5.4 mm, las plantas que menor respuesta tuvieron fueron las de los tratamientos 7, 5 y 4 con 4.65, 4.63 y 4.40 respectivamente. La mayor longitud de la raíz (LONR) se obtuvo en los tratamientos 3, 4 y 5, con 28.6, 28.8 y 28.3 cm respectivamente. En el tratamiento en que mayor número de raíces primarias se obtuvo

fue en el T3 con 7 g de fertilizante de lenta liberación (Osmocote®) y las menores concentraciones de fertilizantes hidrosolubles (Peters®), y las menores cantidades se obtuvieron en el T4 (28.4) con 40 % menos raíces que el T3. En la longitud de raíces primarias (LRP) las plantas respondieron mejor al tratamiento 5 con 30.2 cm, 40 % más grandes que las raíces del T4 con 18 cm. En la biomasa seca del tallo (PST), el mayor peso se obtuvo en el T11 con 3.2 g., presentó 50 % más biomasa en tallo que el T4 con 1.6 g. En la biomasa seca de raíz (PSR), el tratamiento 3 presentó el mayor valor (8.5 g), 53 % más biomasa que el tratamiento 4 (4.5 g). En todos los tratamientos la biomasa fue mayor en la raíz que en el tallo, esto no fue efecto de los tratamientos, fue debido a que las plantas fueron injertadas y el follaje de la planta patrón se eliminó para dejar crecer el injerto (Cuadro 5.4). Sin embargo, es benéfico para las plantas toda vez que una raíz desarrollada proporciona un mejor anclaje de la planta, buen desempeño y adaptación al sitio de plantación.

Las respuestas de las plantas, diez meses después del trasplante, a los diferentes tratamientos de fertilizantes muestran que el tratamiento T3 (con mayor dosis de fertilizante de liberación controlada Osmocote®, en combinación con la menor concentración de fertilizantes hidrosolubles o Peters®) presentaron el mejor crecimiento en la mayoría de las variables evaluadas. Aquellos tratamientos con las mayores dosis de fertilizantes hidrosolubles en combinación con la mayor dosis de fertilizante de liberación controlada, no presentaron los mejores crecimientos (Cuadro 5.4). Las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. fueron más eficientes en el aprovechamiento de nutrientes con el fertilizante de liberación controlada que con los hidrosolubles y granulados, ya que estos últimos son relativamente de baja absorción y presentan altas tasas de lixiviación, rápidamente libera los nutrientes, pero de igual forma se van sin que la planta los aproveche al máximo, por lo que requieren de aplicaciones continuas. Por el contrario, en los fertilizantes de liberación controlada su descarga es pausada y por tiempo prolongado con una sola aplicación, lo que permite que la planta sea más eficiente en el aprovechamiento de los nutrientes (Rose *et al.*, 2004; Jacobs y Landis, 2014). La mayor parte de los nutrientes la planta los absorbe por la raíz y en bajos porcentajes por el follaje, los fertilizantes granulados e hidrosolubles tienen poco

acercamiento con las raíces, mientras que los de liberación controlada están en constante contacto.

Cuadro 5.4. Valores medios a 10 meses después del trasplante de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. creciendo en vivero bajo diferentes regímenes de fertilización.

Tratamientos	ALT (cm)	DIA (mm)	LONR (cm)	NRP (No.)	LRP (cm)	PST (g)	PSR (g)
T1	13.6 d	4.70 ab	26.8 ab	31.5 cd	19.9 ab	1.9 bc	4.9 cd
T2	15.2 bcd	5.35 ab	27.2 ab	43.5 abcd	25.7 ab	2.4 abc	6.0 bcd
T3	17.3 a	5.40 a	28.6 a	54.3 a	26.5 ab	3.0 ab	8.5 a
T4	13.0 d	4.40 b	28.8 a	28.4 d	18.0 b	1.6 c	4.5 d
T5	13.9 d	4.63 ab	28.3 a	36.4 bcd	30.2 a	1.9 bc	5.4 bcd
T6	14.2 cd	5.19 ab	27.9 ab	44.7 abcd	19.5 ab	2.3 abc	5.5 bcd
T7	13.7 d	4.65 ab	27.2 ab	31.8 cd	19.9 ab	1.8 bc	5.0 cd
T8	15.0 bcd	4.78 ab	26.5 ab	35.3 cd	22.1 ab	2.3 abc	6.2 abc
T9	15.6 abcd	5.36 a	25.7 b	47.6 ab	20.0 ab	2.8 ab	7.8 a
T10	13.6 d	4.98 ab	28.1 ab	46.9 abc	22.8 ab	2.5 abc	7.0 abc
T11	18.3 a	5.39 a	27.3 ab	43.5 abcd	25.2 ab	3.2 a	7.7 ab
T12	17.1 ab	5.45 a	27.5 ab	51.5 ab	24.9 ab	2.8 ab	7.1 ab

ALT: altura de la planta, DIA: diámetro del cuello de la raíz, LONR: longitud de la raíz pivotante, NRP: número de raíces primarias, LRP: longitud de las raíces primarias, PST: peso seco del tallo, PSR: pesos seco de la raíz. Letras diferentes indican diferencias con  $p=0.05$ .

### 5.3.1. Concentración de nutrientes

A los siete meses después del trasplante la concentración de nutrientes en las hojas fue significativa entre los doce tratamientos en los elementos N, P ( $p=0.031$  y  $p=0.009$ ), pero a los 10 meses las diferencias solo fueron significativas para N ( $p=0.0029$ ), no así para P.

En la comparación de medias, siete meses después del trasplante, los resultados muestran que la biomasa seca de las hojas del T3 presentó la mayor concentración de N, con 27 % más que en el T1 con 2.19 %. La concentración del P fue mayor en el T12 con 0.34 %, mientras que el T1 obtuvo la menor concentración (0.20 %). A los 10 meses después del trasplante en el T12 la mayor concentración fue de N con 4.55 % y el porcentaje en el T10 fue el menor con 2.73 %. Las concentraciones de P no mostraron diferencias, sin embargo, las mayores concentraciones se observaron en T12 con 0.47 % de N. Jacobs y Landis (2014) proponen algunos rangos de concentración de nutrientes en follaje para especies tropicales, para nitrógeno de 1.5 a 3.5 %, y en fósforo de 0.01 a 0.25 %. En ese sentido las concentraciones de N en todos los tratamientos, a los siete meses, se encuentra dentro del rango adecuado, pero a los diez meses la concentración aumentó y la mayoría de los tratamientos están por arriba de este intervalo (Cuadro 5.5). Lo anterior, puede explicarse debido a que la biomasa analizada fue la del brote del injerto con tres meses de crecimiento al final del experimento, diferentes autores indican que la temperatura, humedad relativa, luz, así como la edad de las hojas son factores que determinan la absorción y acumulación de nutrientes, las hojas jóvenes tienen mayor capacidad de absorción que se acelera cuando aumenta la temperatura y tiende a acumularse cuando la planta está bajo condiciones de sombra (Cohelo Aires, 1999; Escudero y Mediavilla, 2003; Jacobs y Landis, 2014). *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. es una especie caducifolia que tiende a presentar grandes tasas de fotosíntesis y altas concentraciones de N en las hojas, de 3.2 a 3.6 % base seca (Reich, *et al.* 1992; Cohelo Aires, 1999).

Cuadro 5.5. Valores medios del contenido de nutrientes en hojas de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en doce tratamientos de fertilización, a los siete y 10 meses después del trasplante creciendo en vivero.

Tratamientos	7 meses		10 meses	
	N	P	N	P
T1	2.19 b	0.20 c	3.08 bc	0.36 a
T2	2.42 ab	0.23 abc	2.83 bc	0.37 a
T3	2.98 a	0.25 abc	2.98 bc	0.43 a
T4	2.51 ab	0.24 abc	3.57 abc	0.40 a
T5	2.77 ab	0.26 abc	3.16 bc	0.41 a
T6	2.38 ab	0.32 ab	3.33 abc	0.43 a
T7	2.80 ab	0.28 abc	4.03 ab	0.42 a
T8	2.77 ab	0.27 abc	3.65 abc	0.39 a
T9	2.66 ab	0.23 abc	3.92 abc	0.44 a
T10	2.59 ab	0.25 abc	2.73 c	0.39 a
T11	2.77 ab	0.30 abc	3.52 abc	0.40 a
T12	2.46 ab	0.34 a	4.55 a	0.47 a

N: nitrógeno, P: fósforo.

Al final del experimento 11 meses de edad de las plantas. Los datos indican que el N mostro diferencias significativas ( $p > 0.5$ ) en la mayoría de los factores evaluados, mientras que el P sólo para el factor tiempo. En la comparación del T10 con los demás tratamientos resultó significativa, este resultado llama la atención toda vez que este tratamiento sólo se aplicó  $7 \text{ gL}^{-1}$  de fertilizante de liberación controlada (Osmocote®), lo cual indica que el mayor aporte de N provino de este fertilizante; esto reafirma los resultados descritos con anterioridad, este tipo de fertilizante es más eficiente y el que mejor aprovechan las plantas para su crecimiento (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.6. Análisis de varianza y contrastes de los contenidos de nutrientes en el follaje de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. creciendo en vivero bajo diferentes regímenes de fertilización.

<b>Fuente de variación</b>	<b>N</b>	<b>P</b>
Tratamiento	<b>0.0003</b>	0.6375
Tiempo	<b>0.0001</b>	<b>0.0262</b>
Tratamiento*tiempo	<b>0.0007</b>	0.5716
Testigo vs. Todos	<b>0.0008</b>	0.7537
T11 vs. Todos	0.3603	0.6406
T1, T4, T3 vs. T2, T3, T5, T6, T8, T9	0.6409	0.1597
T10 vs todos	<b>0.0073</b>	0.5822

N: nitrógeno, P: fósforo

Al final del experimento la concentración de N y P fue mayor a los diez meses (después del injerto); el N presentó más acumulación que el P en las dos etapas de muestreo. Como ya se explicó con anterioridad las concentraciones de los nutrientes después del injerto se relaciona con la edad de las hojas y tipo de fertilizante (Figura 5.1).

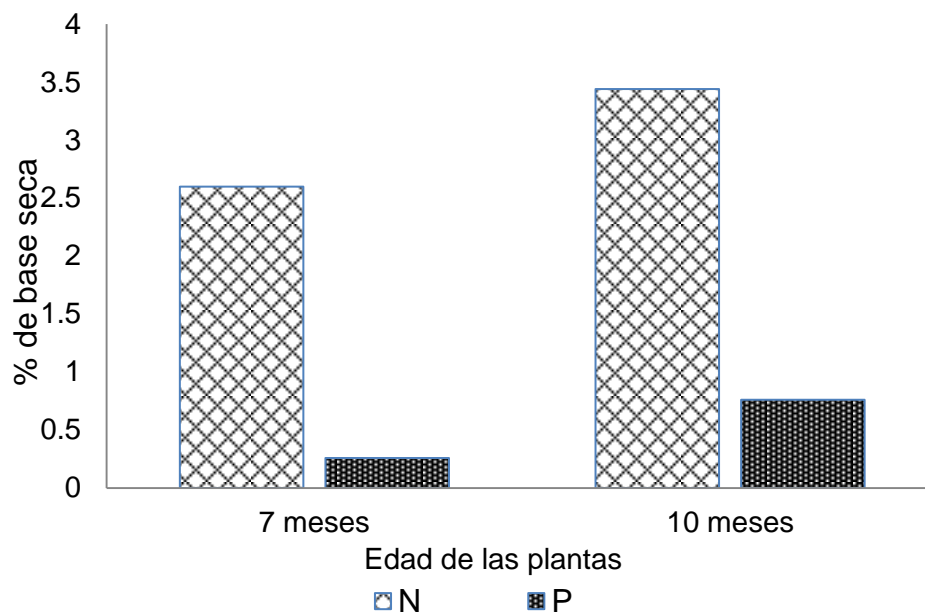


Figura 5.1. Contenido de N y P en hojas de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. antes y después del injerto, en dos fechas de evaluación.

El N fue el elemento que mayor se concentró en las hojas en todos los tratamientos, donde resaltan los tratamientos T7 y T12, y a pesar de que presentan valores mayores al 3 %, las plantas en estos no presentaron los mejores crecimientos. En contraste el T11 presenta menor concentración de N (2.6 %) y fue el tratamiento con el mejor crecimiento a los siete meses y el T3 a los diez meses con 2.9 % de N en las hojas. El N es el elemento que más absorbe la planta pudiendo llegar a consumos excesivos cuando son suministrados a elevados niveles. Las plantas toman el nutriente y lo almacenan en el follaje, cuando las concentraciones siguen aumentando sin que se presente un crecimiento adicional en la planta y solo representa desperdicio de fertilizante, pero cuando las dosis llegan a ser excesivas pueden ocasionar toxicidad o muerte de la planta (Landis *et al.*, 1989)



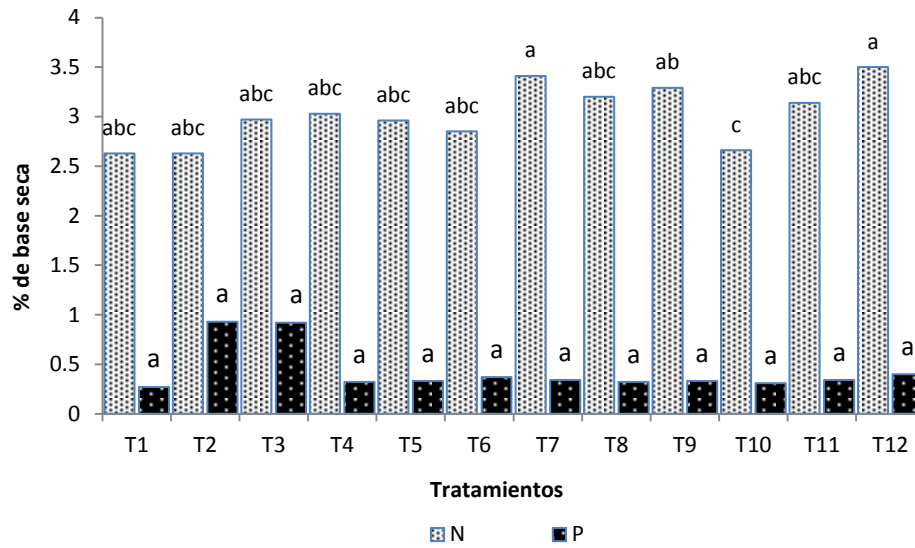


Figura 5.2. Valores medios de los contenidos de nutrientes en el follaje de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. de 10 meses de edad creciendo bajo diferentes regímenes de fertilización. Letras diferentes indican diferencias significativas con  $p=0.05$ .

#### 5.4. CONCLUSIONES

A los 10 meses de crecimiento de las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. presentaron una respuesta positiva a los tratamientos de fertilización, principalmente en los tratamientos con la mayor dosis de fertilizante de liberación controlada ( $7 \text{ g L}^{-1}$ ).

Los fertilizantes hidrosolubles en combinación con dosis menores a  $7 \text{ g L}^{-1}$  de fertilizante de liberación controlada no mostraron mejores crecimientos que el tratamiento testigo con fertilizante granulado (triple 16).

El fertilizante de liberación controlada fue más eficiente en el crecimiento de las plantas que los fertilizantes hidrosolubles de marca comercial.

Es necesario hacer más experimentos con fertilizaciones para tener rangos de comparación de la concentración de nutrientes en el follaje, toda vez que es escasa la información disponible para especies tropicales.

Es posible la sustitución del fertilizante granulado triple 16 por el fertilizante de liberación controlada en combinación con fertilizante foliar en la producción de las plantas de hule en contenedor.

## 5.5. LITERATURA CITADA

- Bustos, F., M. E. González, P. Donoso., V. Gerding, C. Donoso, and B. Escobar. 2008. Efectos de distintas dosis de fertilizantes de liberación controlada (Osmocote®) en el desarrollo de plantas de coigüe, raulí y ulmo. *Bosque* 29(2): 155-161.
- Coelho Aires da G. B., J. R. 1999. Importancia de la nutrición en el cultivo del caucho. *Informaciones Agronómicas*. Instituto de la Potasa y el Fósforo de Canadá. Folleto Técnico No. 37. 16 p.
- Escudero, A. y S. Mediavilla. 2003. Dinámica interna de los nutrientes. *Ecosistemas* 2003/1 (URL: [www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion7.htm](http://www.aeet.org/ecosistemas/031/investigacion7.htm)) (marzo de 2015).
- Jacobs, D. F. and T. D. Landis. 2014. Growing Media. *In*: Wilkinson, K. M., T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, and R. K. Dumroese. (Eds.). *Tropical Nursery Manual, a Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants*. Agriculture Handbook 732. USDA, Forest Service. Washington, DC. pp: 101-121.
- Landis T. D., R. W. Tinus., S. E. Macdonald, and J. P. Barnett. 1989. The Container Tree Nursery Manual. Seedling Nutrition and Irrigation, Vol.4. Agriculture Handbook 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. 119 p.
- Landis, T. D., R.W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett. 1990. The Container Tree Nursery Manual. Containers and Growing Media. Vol. 2. Agriculture Handbook 674. USDA, Forest Service. Washington, DC. 88 p.
- León, J. 1987. *Botánica de los Cultivos Tropicales*. IICA. San José, Costa Rica. 445 p.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, and R. D. Wolfinger. 1996. *SAS system for Mixed Models*. SAS Institute, Cary. NC. 633 p.
- Oliet, J., L. Segura, F. Martín D., E. Blanco., R. Serrada, M. López A. y F. Artero. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada aplicados a producción de planta forestal en vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. *Investigación Agraria: Sistemas Recursos Forestales* 8:335-359.

- Oliet, J., R. Planelles, F. Artero and D. F. Jacobs. 2005. Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in Mediterranean semiarid conditions. *Forest Ecology and Management* 215: 339-351.
- Oliet, J., E. Robredo, J. M. Salazar y R. Villar. 2008. Fertilización otoñal de encina en vivero: efectos sobre la morfología, nutrientes, potencial de enraizamiento y respuesta postrasplante. *Sociedad. Española. Ciencias. Forestales*. 28: 171-176.
- Puértolas, J., L. Gil, and J. A. Pardos. 2003. Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry* 76(2): 159-168.
- Puttonen, P. 1997. Looking for the “silver bullet”, can one test do it all? *New Forests* 13: 9–27.
- Reich, P. B., M. B. Walters, y D. S. Ellsworth. 1992. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs* 62: 365-392.
- Rook, D. E. 1991. Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. *In: Mineral Nutrition of Conifer Seedlings*. Van Den Driessche, R. (Ed). CRC Press. Boca Raton. Florida. pp: 85-101.
- Rose, R., D. L. Hasee, y E. Arellano. 2004. Fertilizantes de entrega controlada: potencial para mejorar la productividad de la reforestación. *Bosque* 25(2): 89-100.
- South, D. B., J. L. Rakestraw and G. A. Lowerts. 2001. Early gains from planting large diameter seedlings and intensive management are additive for loblolly pine. *New Forests* 21: 97–110.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphological evaluation what you can tell by looking. *In: Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures, and Predictive Abilities of Major Tests*. Duryea, M. (Ed.). For. Res. Lab. Oregon State University, Corvallis, OR. pp. 59-71.

Villar-Salvador, P., R. Planelles, E. Enriquez, J. Peñuelas and J. L. Rubira. 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationship in Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecology and Management* 196: 257–266.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES GENERALES

Los resultados muestran que es posible el uso de sustratos y contenedores en la producción de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero, en sustitución de la tierra y la bolsa de polietileno. Entre las mezclas evaluadas la formada por turba presentó resultados favorables seguida de la fibra de coco y posteriormente las compuestas por compostas, pero en todos los casos los resultados son promisorios para la producción de plantas en combinación con los contenedores de 1.5 o 2 L de capacidad.

El uso de compostas a base de cachaza y cascarilla de café, pueden utilizarse en la producción de planta de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en contenedor, pero se deben considerar sus propiedades y mejorarlas antes de utilizarlas principalmente la conductividad eléctrica que se puede disminuir mediante lavados previos a su utilización, así también el porcentaje de cachaza no debe ser mayor al 50 % de la mezcla. La fibra de coco en lugar de la turba es una opción para la especie en vivero, pero se debe combinar con otros materiales que mejoren su estructura.

En la supervivencia y crecimiento en la plantación la fibra de coco mostró mejor desempeño como sustrato que la turba. En términos generales los crecimientos en los distintos tratamientos indican que con el tiempo los tamaños de las plantas se van igualando y los efectos de los tratamientos tienden a desaparecer.

A los 10 meses de crecimiento de las plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. presentaron una respuesta positiva a los tratamientos de fertilización, principalmente en los tratamientos con la mayor dosis de fertilizante de liberación controlada ( $7 \text{ g L}^{-1}$ ). Es posible la sustitución del fertilizante granulado triple 16 por el fertilizante de liberación controlada en combinación con fertilizante foliar en la producción de las plantas de hule en contenedor.

La introducción de los contenedores y sustratos para la producción de plantas de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. requerirá de cambios radicales en los viveros, pero tiene varias 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. Sin embargo, son importantes más trabajos que evalúen con más detalle el sistema y aprovechar el potencial de la producción en contenedor para esta especie.