

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL



Evaluación de Diferentes Mezclas de Sustratos en la Producción de Plantas de  
*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. en Contenedor

Por:

**ASHLEY NAZARETH VERDEJO PORTILLA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México.

Febrero, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Evaluación de Diferentes Mezclas de Sustratos en la Producción de Plantas de  
*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. en Contenedor

Por:

**ASHLEY NAZARETH VERDEJO PORTILLA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

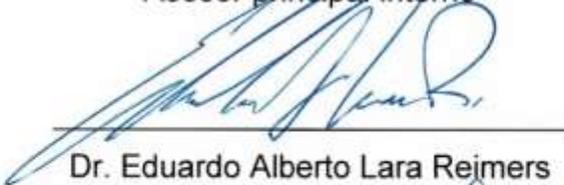
Aprobada por el Comité de Asesoría:



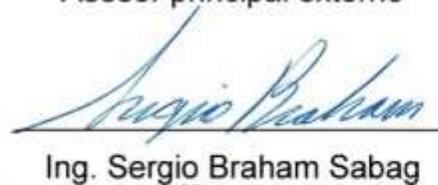
Dr. Celestino Flores López  
Asesor principal interno



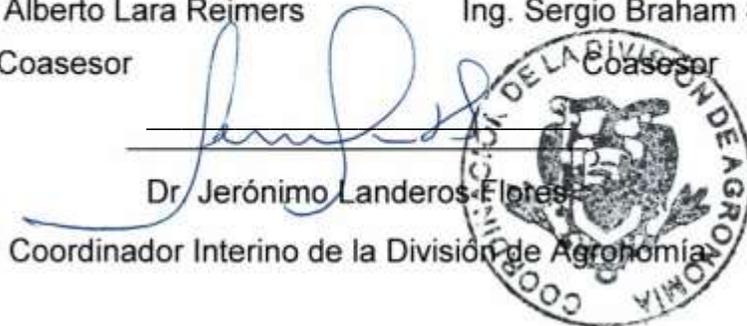
Dra. Olga Santiago Trinidad  
Asesor principal externo



Dr. Eduardo Alberto Lara Reimers  
Coasesor



Ing. Sergio Braham Sabag  
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores  
Coordinador Interino de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México  
Febrero, 2023

## Declaración de no plagio

El autor es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestado los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimientos de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido o sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

Ash V.P.

Ashley Nazareth Verdejo Portilla

## DEDICATORIA

*En memoria de mi papá:*

*Evaristo Verdejo López*

*Gracias por todo lo bueno que me diste en vida. Todos tenemos un propósito en esta vida, y el tuyo fue hacerme feliz muchos años. Te veo a la vuelta papá Moreno...*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Alma Mater, por permitirme ser parte de su institución, desarrollarme académicamente y formarme como profesionalista.

A la Dra. Olga Santiago Trinidad, por ser mi asesor principal, haberme apoyado en todo el proceso y desarrollo de mi tesis, además de compartir sus conocimientos.

A mis asesores Dr. Celestino Flores López, al Ing. Sergio Braham Sabag y al M.C. Jorge David Flores Flores<sup>†</sup> por compartir sus conocimientos en el desarrollo del presente proyecto.

A mis padres Ronald Verdejo y Zurema Portilla, por siempre motivarme, preocuparse por mi educación, enseñarme lo importante de la vida, apoyarme en todo momento y mostrarme el valor del trabajo.

A mi esposo Axel Acho, por ser mi pilar emocional durante toda la elaboración de mi trabajo de tesis, por estar presente en los buenos y malos momentos. Te agradezco por siempre motivarme y ser un ejemplo de superación profesional para mí.

A mis hermanos Airam y Ronald por ser parte importante de mi vida y contar siempre con su apoyo.

A mis abuelas, María y Olga, por siempre motivarme a salir adelante, a echarle ganas y por hacerme sentir que todo lo que yo deseara iba a ser posible.

A mis amigos Fernando Galavíz, José Manuel Becerra, Humberto González, Vanessa Hernández e Isabel Bolaños por haber compartido momentos inolvidables durante la carrera y mi proceso de titulación, ustedes siempre serán recordados por mi persona.

A la Sra. Catalina Pimentel por acogerme en su casa todo el tiempo que necesite, sin todo su apoyo esto no hubiera sido posible. Gracias por brindarme el calor de su hogar y compartirme de su deliciosa comida.

# ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESÚMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Hipótesis.....	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 <i>Ceiba pentandra</i> .....	3
2.2 Sustratos.....	6
2.3 Producción en contenedor.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Localización.....	16
3.2 Colecta de semilla.....	17
3.3 Extracción de semilla.....	17
3.4 Sustratos.....	18
3.5 Contenedores.....	19
3.6 Diseño experimental.....	19

3.7 Siembra.....	20
3.8 Riegos y fertilizaciones.....	21
3.9 Variables evaluadas.....	21
3.10 Muestreo destructivo .....	21
3.11 Índices de calidad.....	23
3.12 Análisis de la información .....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1 Diámetro .....	24
4.2 Altura.....	26
4.3 Hojas.....	29
4.4 Relación Biomasa aérea entre biomasa subterránea.....	31
4.5 Índice De Esbeltez.....	34
4.6 Índice De Dickson.....	36
5. CONCLUSIONES.....	39
6. LITERATURA CITADA .....	40

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Usos medicinales de la <i>Ceiba pentandra</i> .....	5
Cuadro 2. Coordenadas de los árboles colectados para la producción de <i>Ceiba pentandra</i> en contenedor.....	17
Cuadro 3. Descripción de los tratamientos para la producción de <i>Ceiba pentandra</i> en contenedor.....	19
Cuadro 4. Fechas de las tomas de datos en vivero <i>Ceiba pentandra</i> en contenedor.....	21
Cuadro 5. Fechas de los muestreos destructivos para la obtención de biomasa de <i>Ceiba pentandra</i> en contenedor.....	22
Cuadro 6. Parámetros evaluados en <i>Ceiba pentandra</i> para determinar la calidad de planta.....	23
Cuadro 8. Análisis de varianza del diámetro en plantas de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	24
Cuadro 9. Comparación de medias de la variable diámetro de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	25
Cuadro 10. Análisis de varianza de la variable altura en plantas de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	27
Cuadro 11. Comparación de medias de la variable altura de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	28
Cuadro 12. Análisis de varianza de la variable número de hojas en plantas de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	29

Cuadro 13. Comparación de medias de la variable número de hojas de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	30
Cuadro 14. Análisis de varianza de la relación biomasa en plantas de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	32
Cuadro 15. Comparación de medias de la relación biomasa de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	33
Cuadro 16. Análisis de varianza del índice de esbeltez en plantas de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	34
Cuadro 17. Comparación de medias del índice de esbeltez de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	35
Cuadro 18. Análisis de varianza del índice de Dickson en plantas de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	36
Cuadro 19. Comparación de medias del índice de Dickson de <i>Ceiba pentandra</i> producidas contenedor.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Crecimiento en diámetro de <i>Ceiba pentandra</i> producida en contenedor.....	38
Figura 2. Crecimiento en altura de <i>Ceiba pentandra</i> producida en contenedor.....	41
Figura 3. Comportamiento del número de hojas de <i>Ceiba pentandra</i> producida en diferentes mezclas de sustratos.....	44
Figura 4. Resultados de la relación biomasa por tratamiento de <i>Ceiba pentandra</i> producida en contenedor.....	47
Figura 5. Resultados del índice de esbeltez por tratamiento de <i>Ceiba pentandra</i> producida en contenedor.....	50
Figura 6. Resultados del índice de Dickson por tratamiento de <i>Ceiba pentandra</i> producida en contenedor.....	53

## RESÚMEN

La *Ceiba pentandra* es un árbol perteneciente a la familia Malvaceae, sagrado para los antiguos mayas como símbolo del universo y de gran importancia ecológica, ya que mitiga el cambio climático, conserva humedales y protege fauna. La producción de plantas en contenedor es un conjunto de tecnologías generadas para hacer eficientes los procesos de grandes producciones de planta de calidad. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el crecimiento de plantas de *Ceiba pentandra* en diferentes mezclas de sustratos en contenedor de 310 ml, así como determinar los estándares de calidad de las mismas. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar donde los tratamientos evaluados fueron T1: cachaza de caña y cascabillo de café (7:3), T2: peat moss, agrolita y vermiculita (5:3:2), T3 cachaza de caña y bagazo de eucalipto (7:3), T4: cachaza de caña y bagazo de eucalipto (5:5), T5: cachaza de caña y bagazo de eucalipto (3:7) y T6: bagazo de eucalipto. En vivero se midió diámetro (mm), altura (cm) y número de hojas, en laboratorio se realizaron muestreos destructivos donde se tomaron datos de la biomasa anhidrida radicular y aérea. El crecimiento de las plantas se evaluó a lo largo de 110 días, la toma de datos se inició a los 15 días después de la siembra y se continuó cada 15, el muestreo destructivo se realizó cada 30 días. Las variables evaluadas fueron crecimiento en altura, diámetro, número de hojas, relación biomasa, índice de esbeltez e índice de Dickson. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los tratamientos y la prueba de medias determino que el mejor tratamiento en todas las variables de respuesta fue el compuesto por 70 % de cachaza de caña y 20 % de bagazo de eucalipto, en contraste el sustrato T6, donde se obtuvieron los menores crecimientos, utilizando solo bagazo de eucalipto.

Palabra Clave: contenedor, sustrato, ceiba, bagazo, eucalipto.

## ABSTRACT

The *Ceiba pentandra* is a tree belonging to the Malvaceae family, sacred to the ancient Mayans as a symbol of the universe and of great ecological importance since it mitigates climate change, conserves wetlands and protects fauna. The production of containerized plants is a set of technologies generated to make the processes of large productions of quality plants efficient. The objective of this work was to evaluate the growth of *Ceiba pentandra* plants in different mixtures of substrates in 310 ml containers, as well as to determine their quality standards. A completely randomized experimental design was used where the evaluated treatments were T1: sugarcane cake and coffee husk (7:3), T2: peat moss, agrolita and vermiculite (5:3:2), T3 sugarcane cake and bagasse. of eucalyptus (7:3), T4: sugarcane cake and eucalyptus bagasse (5:5), T5: sugarcane cake and eucalyptus bagasse (3:7) and T6: eucalyptus bagasse. In the nursery, diameter (mm), height (cm) and number of leaves were measured. In the laboratory, destructive sampling was carried out where data on root and aerial anhydrous biomass were taken. Plant growth was evaluated over 110 days, data collection began 15 days after planting and continued every 15 days, destructive sampling was performed every 30 days. The variables evaluated were growth in height, diameter, number of leaves, biomass ratio, slenderness index and Dickson index. The results showed significant differences between the treatments and the means test determined that the best treatment in all the response variables was the one made up of 70% sugarcane cake and 20% eucalyptus bagasse, in contrast to the substrate T6 where the results obtained were lower growths, using only eucalyptus bagasse.

Key Word: container, substrate, ceiba, bagasse, eucalyptus

## 1. INTRODUCCIÓN

La función de los árboles es esencial para los ecosistemas terrestres, ya que ayudan a la regulación de la humedad y la temperatura atmosférica, eliminan el dióxido de carbono de la atmósfera, reducen la contaminación del aire, producen oxígeno, entre otras. El desconocimiento de la importancia de los árboles ha causado la deforestación de grandes áreas en todo el mundo. Domínguez y Espinoza (2021) mencionan que algunas de las causas son tala inmoderada, ganadería extensiva, pérdida del suelo, incendios forestales y el uso continuo de agroquímicos.

En México existe una gran demanda de planta para reforestaciones y plantaciones, en la mayoría de los casos las producciones son muy costosas. Ante esta problemática se buscan alternativas como es el caso de los sistemas de producción en contenedor; estos son menos costosos, acortan el tiempo en vivero, optimizan los recursos e insumos y nos dan la oportunidad de tener un crecimiento mejor controlado y más regular de las plantas (Santiago *et al.*, 2007)

Es indispensable conocer el comportamiento de una especie para obtener maximizar las producciones; aspectos básicos como fechas de colecta, extracción de semilla, siembra, germinación, fertilización, etcétera. De igual manera, la calidad del sustrato puede ser lo que defina el éxito o el fracaso de la producción de planta debido a que el sustrato, el medio donde la planta desarrolla sus raíces, es su sostén y quien le brinda los nutrientes necesarios. Es esencial para su vida y mantenimiento, y la elección correcta de este hará que la planta crezca fuerte y sana.

La *Ceiba pentandra* es una especie arbórea con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva, se cultiva extensivamente para la obtención de fibra y es de gran importancia económica tanto para pequeños productores como para grandes plantaciones. Se usa frecuentemente en sistemas agroforestales cafetaleros en Veracruz y en huertos familiares huave (Oaxaca) y

maya (Yucatán) para usos medicinales. Tiene un alto potencial de adaptación y beneficios como la producción de biomasa, la generación de O<sub>2</sub> y la fijación de CO<sub>2</sub>.

El bagazo de eucalipto es un recurso abundante en el sureste del país, es un residuo de la industria papelera al cual no se le da ningún uso. Al ser una fibra que retiene humedad, representa una alternativa para los productores de planta, ya que podría ser usado como sustrato. En ese sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento de plantas de *Ceiba pentandra* en diferentes mezclas de sustratos en contenedor de 310 ml y determinar los estándares de calidad de las mismas.

### **1.1 Objetivo general**

Evaluar el crecimiento de plantas de *Ceiba pentandra* en diferentes mezclas de sustratos producidas en contenedor de 310 ml.

Objetivos específicos

- Evaluar la factibilidad del uso del bagazo de eucalipto como sustrato en la producción de plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor
- Determinar la mezcla de sustratos óptima para la producción de plantas de *Ceiba pentandra* en contenedor
- Determinar los estándares de calidad de plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor de 310 ml.

Hipótesis

H<sub>0</sub>: El tipo de sustrato no influye en la calidad de la planta.

H<sub>a</sub>: El tipo de sustrato influye en la calidad de la planta

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 *Ceiba pentandra*

#### 2.1.1 Taxonomía

*Ceiba pentandra*, pertenece a la familia Malvaceae (anteriormente a la familia Bombacaceae) y fue descrita por (L.) Gaertn.

#### 2.1.2 Descripción

Es un árbol perennifolio o subperennifolio con una altura de 20 a 30 m, llegando a alcanzar hasta los 45 y con un diámetro a la altura del pecho de 50 a 90 cm. Su copa es piramidal, densa o abierta e irregular, hojas alternas, simples, cortamente pecioladas, verdes brillantes en el haz, verde grisáceas en el envés (Pennington y Sarukhán, 2005).

Tronco derecho, cilíndrico, con contrafuertes grandes y bien formados, de 1.5 a 4 m de alto, 6 a 10 por tronco, redondeados a ligeramente tubulares, aplanados. Ramas ascendentes y luego colgantes. Corteza externa lisa, parda grisácea, con tonos amarillentos, lenticelas redondeadas o más largas que anchas. Interna de color crema amarillento, fibrosa a granulosa, con abundante exudado lechoso, ligeramente dulce y pegajoso. Grosor total: 7 a 12 mm (Gribel *et al.*, 1999).

Flores unisexuales, solitarias y axilares. Las masculinas están reunidas en amentos globosos, compuestos de escamas peltadas, carecen de corola. Las flores femeninas están en cabezuelas oblongas, ovals, con escamas más pequeñas. Flor estaminada amarilla, flor pistilada verde (Pennington y Sarukhán, 2005).

Sus frutos son drupas de 2 a 3 cm de diámetro, de sabor y olor dulces, cubierta en la superficie de numerosas escamas blancas y contiene de semillas, las cuales pueden medir de 9 a 13 mm de largo, esféricas y aplanadas en ambos extremos, cubiertas de una testa de color moreno claro. La semilla fresca tiene 45 a 55 % de humedad (Pennington y Sarukhán, 2005).

Tiene un sistema radical fuerte. Algunas raíces son superficiales y el tronco por este motivo, está frecuentemente reforzado por contrafuertes. Prospera en sitios abarrancados, de naturaleza caliza, con tiempos cortos de insolación, en llanos o terrenos con declives escarpados, sobre laderas calizas muy inclinadas, aunque desarrolla mejor en los llanos fértiles. Se encuentra en áreas con temperatura media anual de 18 a 27 °C, con precipitación anual de 600 mm (Tamaulipas), hasta 4,000 mm (Chiapas y Tabasco). Crece sobre suelos someros, pedregosos, con mucha roca aflorante o profundos, con drenaje rápido o muy rápido (Gribel *et al.*, 1999).

### **2.1.3 Hábitat y distribución**

Es un árbol pantropical que prefiere elevaciones de bajas a bajo medianas, y que acepta desde condiciones secas a muy húmedas. Podemos encontrarlo desde México hasta Venezuela, Brasil y Ecuador, en la parte tropical de Asia y África. En México se encuentra en los estados de Chiapas, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Pennington y Sarukhán, 2005).

Distribuida en las orillas de los ríos. Con frecuencia crece en terrenos talados y abandonados y lo largo de los caminos. Se desarrolla en suelos arenosos con drenaje muy rápido hasta suelos arcillosos e inundables parte del año (Elumalai *et al.* 2012)

### **2.1.4 Usos e importancia**

#### **2.1.4.1 Económica**

La fibra algodonosa que rodea las semillas (kapok) se utiliza en la industria como aislante térmico y acústico en cámaras frigoríficas y aviones. La fibra de kapok es ligera, muy flotante, resistente, altamente inflamable y resistente al agua. Se usa como relleno de colchones, almohadas, tapicerías, muñecos, y para aislamientos. Antiguamente, se empleaba en chalecos salvavidas y dispositivos similares. Sin embargo, ha sido sustituida en gran parte por materiales sintéticos. Las semillas contienen hasta un 25% de aceite, que es muy usado para encender lámparas y para fabricar jabón, y también como fertilizante. Su madera es muy usada en la elaboración de artículos torneados, instrumentos musicales y juguetes (Pennington y Sarukhán, 2005).

### 2.1.4.2 Medicinal

Se aprovechan distintas partes de la planta como se muestra en el cuadro 1 (Segleau-Earle, 2012)

Cuadro 1. Usos medicinales de la *Ceiba pentandra*.

Parte del árbol	Indicaciones
Corteza	Se ha usado contra heridas, granos, reumatismo, como antiespasmódico, emético y diurético.  Macerada se usa como galactogoga (para producir leche), diurética (estimular la orina), afrodisiaco.  En decocción se usa para el dolor de estómago, diarrea, problemas cardiacos, asma, y heridas.
Tallos	Se consideran antiinflamatorios para postemas y tumores, contra el dolor de muelas.
Hojas	Son emolientes, por lo que se usan contra quemaduras y salpullido.
Flor	Se usa en decocción como emoliente, y contra el estreñimiento.
Semillas	Producen un aceite que se usa en comida y jabones.

### 2.1.4.3 Mitológica

Es un árbol sagrado en la cultura maya, para ellos la ceiba era y sigue siendo un árbol divino, por lo que lo consideran “el árbol de la vida”, en donde sus ramas forman el cielo, el tronco el plano terrenal y sus raíces tejen el inframundo, conectando así, los tres niveles cosmogónicos (CONANP, 2021).

En esta misma cultura se encuentra la leyenda de la Xtabay, en donde un fantasma se esconde en la ceiba en las noches y seduce a los hombres alcoholizados con su

impresionante belleza y larga cabellera con el fin de arrebatarnos su vida (CONANP, 2021).

## **2.2 Sustratos**

Debido a que en México hay mucha actividad agrícola, existen varios subproductos que cuentan con un alto potencial para ser usado como sustratos, tal es el caso del cacao, el coco, el café y la caña de azúcar (Benavides, 2010).

El cacao es utilizado como mejorador del suelo en las regiones de producción del mismo cultivo, el subproducto llamado “tierra de cacao” funciona como sustituto de Peat Moss (Peralta, 2002); el coco es usado en forma de fibra para la creación de sustratos comerciales; de la caña de azúcar se obtiene la cachaza como subproducto, esta presenta concentraciones importantes de nutrimentos lo cual la sitúa como un buen mejorador de suelos (Obrador 1996); del café se obtiene el bagazo y la cascarilla. El bagazo es usado como mejorador de suelo para la producción de hongos comestibles y la cascarilla es utilizada como sustrato para el cultivo en contenedores. En ambos casos estos subproductos tienen muy poco o nulo valor, por lo que es importante darles un valor agregado para que estos puedan ser comercializados y sean un apoyo para los agricultores (Antonio, 2008).

El cultivo de plantas en contenedor aumentó la demanda de los sustratos derivados de subproductos agrícolas (Burés, 1998), la necesidad del sector productivo ha obligado a buscar alternativas de sustratos adecuados que sean utilizados para el cultivo de plantas sin suelo.

Existe mucha diferencia entre el cultivo de plantas en contenedor y el cultivo de plantas en pleno suelo; al cultivar en contenedor con un sustrato que cuente con las características correctas, la planta tendrá un crecimiento óptimo debido a que se produce una buena relación planta-sustrato (Rodríguez, 2008)

### **2.2.1 Concepto**

El término “sustrato”, que se aplica en la producción en vivero, se refiere a todo material sólido que puede ser natural o sintético, mineral u orgánico y que, en un contenedor, de forma pura o mezclado, permite el anclaje de las plantas a través de su sistema

radicular (Pastor Sáez, 1999).

El sustrato puede intervenir o no en el proceso de nutrición de la planta, y se clasifican en químicamente inertes (perlita, leca, lana de vidrio, etc.) que actúan únicamente como soporte de la planta, o químicamente activos (corteza de pino, vermiculita, turba, compost, etc.) que intervienen además en procesos de adsorción y fijación de nutrientes (Nájera, 2013).

### **2.2.2 Funciones**

Barrios Soto (2016) señala que las funciones principales de los sustratos son:

1. Proporcionar un medio apropiado para el desarrollo de las raíces, que constituya a la vez el soporte de las plantas.
2. Retener el agua y los nutrientes necesarios para aportarlo a los cultivos
3. Permitir la circulación del aire para proporcionar el intercambio gaseoso en las raíces.
4. Actuar como amortiguadores de las reacciones químicas y los cambios de pH. Estas también son funciones inherentes a los suelos, sin embargo, los sustratos las superan con creces.

### **2.2.3 Ventajas**

Cabrera (1999) menciona algunas ventajas del uso de sustratos en la agricultura tales como:

- Hay probabilidad de una menor presencia de plagas y enfermedades de la raíz, ya que estas son comunes cuando se utiliza el suelo como medio de crecimiento.
- Ofrecen la posibilidad de producir en zonas donde los suelos no son apropiados para la producción.
- Permiten realizar mezclas de acuerdo con las necesidades de cada cultivo con el objetivo de lograr un mejor desarrollo de la raíz y por consiguiente mejores rendimientos y calidad en la planta.
- Se pueden reciclar los desechos de origen orgánico, aprovechándolos como sustratos.

## **2.2.4 Propiedades**

### **2.2.4.1 Físicas**

Las principales características físicas que se evalúan en un sustrato son: la densidad real y aparente, la distribución granulométrica, porosidad y aireación, retención de agua, permeabilidad y estabilidad estructural.

#### **2.2.4.1.1 Densidad real y aparente**

Es el peso seco del sustrato por unidad de volumen, incluye todos los espacios ocupados por aire y materiales orgánicos (Abad, 1993). Esta característica se utiliza para estimar la capacidad total de almacenaje del sustrato y su grado de compactación. Un sustrato con baja densidad aparente es económicamente beneficioso, debido a que maximiza la capacidad operacional del medio de cultivo, minimizando los costos de transporte y manipulación de materiales (Calderón, 2005).

#### **2.2.4.1.2 Distribución granulométrica**

La granulometría del sustrato debe ser mediana a gruesa, con tamaños de partícula de 0,25 a 2,6 mm, que produzcan poros de 30 a 300  $\mu\text{m}$ , permitiendo una buena aireación y retención de agua. También es importante que el tamaño de las partículas sea estable en el tiempo (Baixauli y Aguilar, 2002).

#### **2.2.4.1.3 Porosidad y aireación**

Consiste en el volumen total que no está siendo ocupado por partículas sólidas, minerales u orgánicas (Burés, 1998).

Los regímenes de agua y aire dentro de un sustrato dependen del espacio poroso del medio, sin embargo, no es suficiente que el sustrato posea una elevada porosidad total, sino que esta se encuentre compartida entre macroporos, que se hallan ocupados por aire y microporos que alojan agua en su interior (Ansorena, 1994). Un valor ideal para un sustrato comercial sería de 85 % de porosidad total (Díaz Serrano, 2004).

El tipo de material utilizado como sustrato, el tamaño y la continuidad de sus poros, la temperatura, la profundidad, la humedad y la actividad microbiológica, entre otros, son aspectos que deben ser considerados para comprender la dinámica de los gases

dentro de un medio de cultivo, donde el intercambio gaseoso debe ser rápido. Además, la utilización de contenedores de volumen reducido, produce cambios en la aireación y la retención de agua, afectando el desarrollo de las plantas (Rucks y Kaplan, 2004). Según Díaz Serrano (2004) valores de entre 20 y 30 % son ideales para un desarrollo correcto de las plantas.

#### **2.2.4.1.4 Retención de agua**

La cantidad total de agua retenida por un sustrato en un contenedor depende de la proporción de microporos y del volumen del contenedor. Sin embargo, aunque la retención de agua sea elevada, puede ser adsorbida por las partículas del sustrato, por lo que no se encontrará disponible para la planta o el cultivo. Esto dependerá del tamaño de los poros más pequeños y de la concentración de sales en la solución acuosa. Un sustrato adecuado corresponde a aquel que tiene un 20 ó 30 % de agua fácilmente disponible (Ansorena, 1994).

Una baja retención de agua en un sustrato puede producirse por baja porosidad total, alta proporción de macroporos o microporos, elevada concentración de sales en solución acuosa o una combinación de las situaciones anteriores (Abad , 1993).

#### **2.2.4.1.5 Permeabilidad**

La permeabilidad de los suelos, es decir, la facultad con la que el agua pasa a través de los poros, tiene un efecto decisivo sobre el costo y las dificultades a encontrar en muchas operaciones constructivas, como los son, por ejemplo, las excavaciones a cielo abierto en arena bajo agua o la velocidad de consolidación de un estrato de arcilla bajo el peso de un terraplén, de allí la importancia de su estudio y determinación, aspectos que se desarrollaran a continuación (Angelone *et al.*, 2006)

#### **2.2.4.1.6 Estabilidad estructural**

La estabilidad estructural está vinculada a la buena retención y circulación de agua y a la baja separabilidad de las partículas de los agregados. Por consiguiente, en los suelos con mayor estabilidad estructural el riesgo a la degradación física es menor (Fernández *et al.*, 2016)

## **2.2.4.2 Químicas**

### **2.2.4.2.1 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH<sub>4</sub> etc.) (FAO, 2021)

La CIC se expresa en términos de miliequivalentes por 100 g de suelo (me/100 g), pero en los sustratos sin tierra se acostumbra medirla como miliequivalentes por 100 centímetros cúbicos (me/100 cm<sup>3</sup>) (Baixauli y Aguilar, 2002).

### **2.2.4.2.2 PH**

Corresponde a la medida de concentración de la acidez en la solución del sustrato y tiene la capacidad de controlar la disponibilidad de todos los nutrientes (Pastor Sáez, 1999). Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, 2021). El pH óptimo del sustrato depende de la especie que se esté cultivando. La mayoría de las especies crecen bien en pH ligeramente ácido entre 6,2 a 6,8. Con valores inferiores a 5 pueden aparecer deficiencias de N, K, Ca, Mg y B. Con valores superiores a 6, se producen problemas en la disponibilidad de Fe, P, Zn, Mn y Cu (Abad, 1993).

## **2.2.5 Tipos**

### **2.2.5.1 Cachaza de caña**

La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación de los jugos de caña (Salazar *et al.*, 2009) Es de coloración café oscura y se compone de sacarosa, fosfato de calcio, fibras de la caña y algunos coloides. Es rica en componentes indispensables para el desarrollo del metabolismo microbiano y en fuentes asimilables de carbono, calcio, nitrógeno y materia orgánica (Castro *et al.* 2021). Por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30 a 50 kg de cachaza (Salgado *et al.*, 2003).

Es rica en Fósforo, Calcio, Nitrógeno y baja en Potasio. También es una fuente importante de Zinc, Boro y desde luego de Materia Orgánica (CATSA, 2012). Su uso

como abono favorece las propiedades físicas y químicas del suelo; incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo por la producción de humus, aumenta la capacidad de retención de humedad del mismo, y durante su descomposición se produce gran cantidad de CO<sub>2</sub> que al transformarse en H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> disuelve, junto con otros ácidos de origen orgánico, los nutrientes insolubles en suelos con pH alcalino (Zérega, 1993).

#### **2.2.5.2 Cascabillo de café**

El cascabillo de café es la parte que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa y representa alrededor de 12 % del grano de café en base seca (Manals-Cutiño *et al.*,2019), el resto constituye residuos potencialmente contaminantes al medio ambiente si no se procesan adecuadamente, de una tonelada de café cereza se obtienen de cuarenta a cuarenta y cinco kilogramos de cascarilla o pajilla (Restrepo, 1996). Es un material natural, de bajo costo y abundante en las zonas cafetaleras (Antonio, 2008).

Es un residuo de la industria cafetalera, que en lugar de contaminar el ambiente puede ser utilizado como materia orgánica para la elaboración de sustratos (Márquez, 2020).

Constituye una excelente fuente de celulosa, y lignina, pentosanos, sílice y cenizas, así como otros compuestos en menor proporción (Manals-Cutiño *et al.*,2019),

#### **2.2.5.3 Peat Moss**

El Peat Moss es la forma de materia orgánica más popular para la preparación de sustratos para contenedor (Alvarado y Solano, 2002), son restos de materia orgánica parcialmente descompuesta procedente de vegetación antigua de zonas pantanosas en las que por falta de oxígeno y exceso de agua no se ha podido descomponer por completo (San Giacomo *et al.*, 2012).

Satisface más el criterio para la selección de ingredientes de sustratos que cualquier otra MO disponible para la producción de planta en contenedor, es bajo en sales solubles, las características físico-químicas suelen ser muy estables; tiene una densidad aparente de 200 a 400 g/l, una capacidad de absorción de agua de 150 a 160 % del volumen, un pH generalmente mayor a 6, una CIC de 20 a 35 meq/100cm<sup>3</sup>, una porosidad total mayor a 80 %, un elevado contenido de nutrientes y bases, una

elevada capacidad de humificación y un gran contenido de microorganismos. Como desventaja, al igual que las turbas rubias, presenta problemas de rehidratación cuando se desecan por debajo del 40 % (San Giacomo *et al.*, 2012).

#### **2.2.5.4 Agrolita**

La Agrolita es un mineral blanco de peso ligero que se produce a altas temperaturas. Se deriva de material volcánico y es un silicato de aluminio (Landis, 1990). Posee numerosas características útiles que la hacen deseable como medio de crecimiento, una de ellas es su estructura bien drenada. El agua solo toca el exterior de las partículas, por lo que una maceta que contenga perlita tendrá un buen drenaje. Es liviano y no se comprime fácilmente, lo que ayuda a crear una buena porosidad en el sustrato. Nelson (1998) señala que por sí sola es inerte, casi no tiene nutrientes para las plantas, tiene una CIC mínima y su pH es casi neutro, sin embargo, se puede agregar a otros materiales orgánicos, como turba o corteza de pino, para aumentar porosidad de aireación.

#### **2.2.5.5 Vermiculita**

Se trata de un mineral próximo a la mica, de estructura laminar, expandida a temperaturas de 900 °C (Álvarez *et al.*, 2005). Se presenta en forma de escamas expandidas de 5 a 10 mm (San Giacomo *et al.*, 2012) con aire en su interior, esto le otorga ligereza y una estructura exfoliada que elimina todo riesgo de asfixia y de agresión mecánica. Los nutrientes minerales predominantes en vermiculita son potasio, magnesio y calcio (Alvarado y Solano, 2002), es un material ideal para mezclar con otros sustratos, ya que proporciona porosidad total y elasticidad previniendo el apelmazamiento y permitiendo la correcta aireación de las raíces (Álvarez *et al.*, 2005). La vermiculita es un componente muy deseable en un sustrato sin suelo por su gran retención de humedad y nutrientes, buena aireación, y baja densidad (Alvarado y Solano, 2002).

#### **2.2.5.6 Bagazo de eucalipto**

El bagazo de eucalipto es un residuo fibroso resultante de la extracción de celulosa. Además de la gran utilidad del eucalipto como madera y combustible, la corteza de los árboles jóvenes se utiliza como cordeles naturales en el amarre de las cargas de leña.

A estos se les conoce como fibras liberianas del eucalipto, son delgadas, largas y finas, del color del candamo cuando estas están secas (Jami Yasser, 2021).

## **2.3 Producción en contenedor**

### **2.3.1 Concepto**

La producción de plantas en contenedor es son un conjunto de tecnologías generadas para hacer eficientes los procesos de grandes producciones de planta de calidad. En México, se realiza en envases tanto de polietileno como de poliestireno colocado tanto de manera individual o formando charolas (Santiago Trinidad *et al.*, 2015).

Landis et al. (1990) expresó que la principal función de un contenedor es sostener una pequeña cantidad de sustrato, mientras que también proporciona agua, aire, nutrientes minerales a las raíces y da soporte físico mientras la planta está aún en el vivero.

### **2.3.2 Ventajas**

Algunas de las ventajas de la producción en contenedor son las siguientes (Intagri, 2020):

- El aumento de los rendimientos.
- El Incremento de la densidad de plantas por hectárea.
- La elección del sustrato permite tener mayor control sobre el cultivo.
- La reducción del uso de agua para el riego
- La optimización del uso de fertilizantes
- Menores problemas de enraizamiento

### **2.3.3 Parámetros de plantas de calidad**

Existen algunos parámetros que nos permiten evaluar los sustratos utilizados y su efecto en la calidad y comportamiento de las plantas, tales como el Índice de Dickson, el Índice de Esbeltez y la Relación Biomasa

#### **2.3.3.1 Índice de Dickson**

Reúne varios atributos morfológicos en un solo valor y se usa como índice de calidad: a mayor valor del índice, resultará una mejor calidad de planta (Dickson, 1960).

### **2.3.3.2 Índice De Esbeltez**

Relaciona la altura (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm) de la planta, es un parámetro de calidad en forestales que evidencia el crecimiento proporcional de una plántula (Barrios Soto, 2016).

### **2.3.3.3 Relación Biomasa**

Relaciona el peso seco de la parte aérea de la planta (tallos, hojas) y el peso seco de la parte radicular (raíz pivotante y raíz secundaria) de la planta.

La producción de biomasa es importante, refleja el adecuado desarrollo de la planta en vivero. Una relación igual a uno, quiere decir que la biomasa aérea es igual a la subterránea; cuando el valor es menor a 1, quiere decir que la biomasa subterránea es mayor que la aérea; al contrario, si el valor es mayor a 1, la biomasa aérea es mayor que la subterránea (Rodríguez, 2008).

## **2.3.4 Características que afectan la calidad de la planta**

### **2.3.4.1 Tamaño del contenedor**

La elección del contenedor correcto para las plantas, depende de factores biológicos y factores económicos. Las consideraciones de orden biológico incluyen el tamaño de la semilla, el tamaño deseado para la planta, así como las condiciones ambientales del sitio de plantación. Desde el punto de vista económico, las consideraciones primarias son el costo inicial, la disponibilidad del contenedor, y la cantidad de espacio disponible para el cultivo (Landis *et al.*, 1990).

### **2.3.4.2 Espaciamento entre contenedores**

La distancia entre los contenedores individuales en la charola genera la densidad de crecimiento de las plantas, esta es una de las características más importantes del contenedor que afectan el crecimiento de las plantas. No obstante, el arreglo espacial de los contenedores dentro de la charola también tiene implicaciones económicas. Las plantas forestales requieren de una cierta cantidad mínima de espacio de crecimiento, el cual varía con la especie y la edad. Por otra parte, los viveristas necesitan producir el número máximo de plantas por unidad de área de espacio de crecimiento (Landis *et al.*, 1990).

### **2.3.4.3 Diseño de características para controlar el crecimiento de la raíz**

Uno de los problemas más serios en el cultivo de plantas forestales en contenedores, es la tendencia de las raíces a crecer en espiral sobre la superficie interna del contenedor. Las raíces de las plantas crecen geotrópicamente, pero si ellas no hay ningún obstáculo crecen lateralmente en la superficie interna del contenedor (Landis *et al.*, 1990)

El crecimiento en espiral de la raíz no afecta mientras la planta está en el vivero, pero al trasplantarla a campo se reduce su calidad. El crecimiento en espiral dificulta el adecuado establecimiento de la raíz en el suelo, lo cual puede derivarse en pérdida de la verticalidad o incluso estrangulamiento (Cano-Pineda y Cetina-Alcalá, 2004).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

El experimento se llevó a cabo en el estado de Veracruz, Campo Experimental “El Palmar” del INIFAP, localizado en el kilómetro 16 de la carretera municipal Tenozapa-Palmar, a los 18° 32’ latitud norte y 96° 47’ longitud Oeste y con una elevación promedio de 180 msnm.

##### **3.1.1 Clima**

El clima presente en el área es del tipo Am, cálido húmedo, temperatura media anual entre los 24° C – 26 °C; precipitación media anual de 2500 mm a 4000 mm (García, 1998).

##### **3.1.2 Vegetación**

La vegetación del área corresponde a cultivos anuales y perennes, así como algunos de temporal (INEGI, 2021a). En cuanto a cultivos anuales, el municipio cuenta con una extensa producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) la cual es una especie que requiere agua y suelos adecuados para crecer bien, una especie perteneciente a la familia de las poáceas de la cual se produce azúcar. Respecto a cultivos perennes se cuenta con hule (*Hevea brasiliensis*), un cultivo anual del cual se aprovecha el látex, el cual es utilizado como materia prima para la fabricación de una amplia variedad de productos, entre los que destaca la producción de neumáticos para la industria automotriz; también se utiliza en la fabricación de jabón y repelentes de insectos.

##### **3.1.3 Suelo**

El suelo característico del sitio es acrisol órtico de textura fina, que son suelos muy ácidos, arcillosos (más de 35% de arcilla), con drenaje interno moderadamente drenado, desarrollados, profundos o moderadamente profundos (50 a 100 cm) y que presentan un horizonte subyacente denominado argólico el cual posee un mayor

contenido de arcilla que el horizonte superficial (INIFAP y CONABIO, 1995).

#### **3.1.4 Topografía**

El campo experimental se encuentra dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur, así mismo, dentro de la subprovincia denominada Sierras Orientales (INEGI, 2021b). Pertenece a la región hidrológica RH28A R. Papaloapan, dentro de la cuenca Río Papaloapan (CNA, 1998).

#### **3.2 Colecta de semilla**

La semilla fue colectada en 7 sitios aledaños al Municipio de Tezonapa y cercanos al municipio de Cotaxtla. Se colectó de 10 árboles diferentes con el objetivo de tener variabilidad genética.

Primeramente, se realizó un recorrido en el cual se ubicaron los árboles idóneos, es decir, los cuales estuvieran en fructificación y listos para tomar sus frutos.

Al localizar los árboles se comenzó a colectar; con ayuda de una cuerda y una piola; se sacudían los árboles cuidando de no arrancar las ramas. Una vez los frutos caían al suelo, se juntaban en costales para tener un control de los diferentes árboles. Cada árbol fue georreferenciado (Cuadro 2) al momento de la colecta.

#### **3.3 Extracción de semilla**

Los frutos fueron colocados en harneros y puestos a secar en la sombra durante una semana, esto con el objetivo de que se terminaran de madurar algunos, ya que no estaban completamente listos, de igual manera se tuvo cuidado de que no se abrieran completamente para evitar problemas con la expansión de la fibra Kapok.

Después de la semana comenzó la extracción de la semilla, la cual fue manual fruto por fruto, la semilla se colocó en canastillas y se mantuvo a temperatura ambiente con rocíos de agua y fungicida diario, para evitar la deshidratación de la semilla.

Cuadro 2. Coordenadas de los árboles colectados para la producción de *Ceiba pentandra* en contenedor.

Sitio	No. De árboles	Coordenadas	Altitud (msnm)
1	3	18°53'33"N 96°14'47"O	30
2	1	18°49'43"N 96°20'14"O	60
3	1	18°49'15"N 96°20'51"O	60
4	1	18°48'53"N 96°21'16"O	80
5	1	18°46'37"N 96°29'41"O	150
6	1	18°44'33"N 96°38'38"O	240
7	2	18°43'48"N 96°39'27"O	250

### 3.4 Sustratos

Para el llenado de los contenedores, se utilizaron diferentes sustratos:

- Cachaza de caña: Se obtuvo por compra al ingenio Motzorongo que se ubica dentro del municipio de Tezonapa, Veracruz, muy cerca de donde fue establecido el experimento, la cachaza es subproducto de la industria cañera, se produce en grandes cantidades y compostada, es vendida al público en general.
- Cascabillo de café: Se obtuvo del beneficiado en seco del fruto del café robusto que es un cultivo predominante en la zona, por lo que el cascabillo es abundante

y un desecho, el beneficio se ubica en la comunidad de Cachapa dentro del municipio de Tezonapa, Veracruz.

- Bagazo de eucalipto: Se obtuvo de los desechos después de la extracción de la pulpa para papel de eucalipto, de la empresa Kimberly Clark ubicada en el Estado de Tabasco,
- Peat Moss, Agrolita y Vermiculita: Se obtuvo mediante la compra con un proveedor de insumos para el vivero. Son 3 sustratos muy utilizados en la producción en vivero, por lo tanto, fue fácil y rápido conseguirlos.

### 3.5 Contenedores

Se utilizaron tubetes con capacidad de 310 ml, utilizando una charola con una capacidad de 54 tubetes. Se colocaron 30 charolas en 2 rieles de metal, estableciendo el experimento con un total de 1,620 plantas.

### 3.6 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar con el siguiente modelo estadístico y fue analizado el efecto del sustrato en el crecimiento de la planta.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación correspondiente a la j-ésima unidad experimental que recibió el i-ésimo tratamiento

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Error aleatorio

Se evaluaron 6 tratamientos (Cuadro 3), cada uno constó de 5 repeticiones y la unidad experimental de cada tratamiento fue una charola con 54 tubetes. En total se colocaron 270 tubetes por tratamiento.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos para la producción de *Ceiba pentadra* en contenedor.

Tratamiento	Mezcla	Proporción
<b>T1</b>	Cachaza de caña	70%
	Cascabillo de café	30%
<b>T2</b>	Peat Moss	50%
	Agrolita	30%
	Vermiculita	20%
<b>T3</b>	Cachaza de caña	70%
	Bagazo de eucalipto	30%
<b>T4</b>	Cachaza de caña	50%
	Bagazo de eucalipto	50%
<b>T5</b>	Cachaza de caña	30%
	Bagazo de eucalipto	50%
<b>T6</b>	Bagazo de eucalipto	100%

El primer tratamiento se tomó como testigo, ya que es la mezcla más utilizada para la producción de plantas en la zona (Cachaza de caña y Cascabillo de café)

El segundo tratamiento (Peat Moss, Agrolita y Vermiculita) se evaluó debido a que es la mezcla más utilizada en los viveros para la producción de especies forestales

Los cuatro tratamientos restantes se evaluaron para analizar la eficacia del uso del bagazo de eucalipto, el cual es un subproducto de la industria papelera muy abundante al sur del país.

### 3.7 Siembra

La siembra se realizó el día 3 de junio de 2022, esta actividad consistió en colocar dos semillas en cada cavidad de los tubetes previamente llenados con las mezclas evaluadas, después las semillas se cubrieron con una capa ligera de sustrato

### **3.8 Riegos y fertilizaciones**

Como parte del mantenimiento del experimento se aplicaron riegos ligeros todos los días desde la siembra y hasta la emergencia, posteriormente se aplicaron riegos pesados cada tercer día. Así también, a los 45 días después de la siembra las plantas se fertilizaron con la formulación foliar de Harvest More® (20% N, 20% P, 20% K y microelementos) en una concentración de 150 ppm 2 veces por semana durante 4 semanas. Para el fortalecimiento del sistema radicular y crecimiento de la planta, se aplicó en el sustrato el fertilizante granulado Nitrophoska® (12% N, 8 P, 16 K, 3 MgO, 9 S) a razón de 2 gr/l de agua aplicado directamente en el sustrato con una regadera de mano. Para la prevención de enfermedades se aplicó fungicida Promyl® en una concentración de 1.5 gr/l una vez por semana. Otras actividades que se realizaron fueron los deshierbes, esta actividad se realizó en forma manual retirando las hierbas de los contenedores.

### **3.9 Variables evaluadas**

En cada tratamiento se seleccionaron de forma aleatoria 60 plantas. las cuales fueron marcadas para tomar los datos de crecimiento, en total se midieron 360 plantas cada 15 días.

Se tomaron datos del diámetro (mm) del cuello de la raíz con la ayuda de la escala de precisión, un vernier digital truper®. La altura se midió desde el cuello de la raíz hasta la yema terminal con la ayuda de un flexómetro graduado en centímetros. El número de hojas se obtuvo contando las mismas de cada planta.

### **3.10 Muestreo destructivo**

En el laboratorio se realizaron 3 muestreos destructivos, para ello se seleccionaron en forma aleatoria 10 plantas por cada tratamiento, evaluando un total de 360 plantas por muestreo. Las plantas fueron lavadas para quitarles los residuos de sustratos y posteriormente se separó la parte aérea de la parte radical, las muestras fueron colocadas en bolsas de papel colocando por separando la parte aérea de la parte radical y se colocaron en la estufa de secado a 70 °C durante 72 horas, al finalizar el secado se pesaron en una báscula digital.

Cuadro 4. Fechas de las tomas de datos en vivero *Ceiba pentandra* en contenedor.

No. De toma	Fecha
1	17 de junio de 2022
2	26 de junio de 2022
3	12 de julio de 2022
4	26 de julio de 2022
5	9 de agosto de 2022
6	23 de agosto de 2022
7	06 de septiembre de 2022
8	20 de septiembre de 2022

Se tomaron los datos del diámetro (mm) del cuello de la raíz con la ayuda de la escala de precisión vernier, la altura (cm) considerando la distancia entre el cuello de la raíz y la yema terminal, el peso (gr) de aparte aérea y de la parte radical, el número de hojas, el tamaño (cm) de la raíz pivotante y el número de raíces secundarias.

Cuadro 5. Fechas de los muestreos destructivos para la obtención de biomasa de *Ceiba pentandra* en contenedor.

No. De toma	Fecha
1	12 de julio de 2022
2	09 de agosto de 2022
3	6 de septiembre de 2022

### 3.11 Índices de calidad

Con base a los datos obtenidos de las tomas de datos en vivero y los muestreos destructivos, se calcularon diferentes índices útiles para la evaluación de calidad de las plantas.

Cuadro 6. Parámetros evaluados en *Ceiba pentandra* para determinar la calidad de planta.

Parámetro	Método	Significado
Relación biomasa	$RB = \left( \frac{pa \text{ gr}}{ps \text{ gr}} \right)$	Donde: RB: Relación biomasa pa: peso anhidro de parte aérea ps: peso anhidro de parte subterránea
Índice de esbeltez	$IE = \left( \frac{h \text{ cm}}{d \text{ mm}} \right)$	Donde: IE: Índice de Esbeltez h: altura d: diámetro
Índice de dickson	$QI = p \left( \left( \frac{h \text{ cm}}{d \text{ mm}} \right) + \left( \frac{pa \text{ gr}}{ps \text{ gr}} \right) \right)$	QI: índice de Dickson p: peso anhidro total de la planta

### 3.12 Análisis de la información

Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables por medio del programa estadístico Infostat, posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias Tukey con un nivel de significancia del 95 %.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Diámetro

Como resultado del análisis de varianza realizado para la variable crecimiento en diámetro en plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, con un nivel de confiabilidad del 95% (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del diámetro en plantas de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.66	5	0.93	189.47	<0.0001*
Tratamiento	4.66	5	0.93	189.47	<0.0001*
Error	1.74	354			

F.V.=fuente de variabilidad, SC=suma de cuadrados, gl=grados de libertad, CM=cuadrado medio.

\*estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ )

El análisis de comparación de medias para la variable diámetro mostró que los mayores crecimientos se obtuvieron en los tratamientos 3 y 1, donde el factor predominante fue el mayor porcentaje de cachaza (70%), así también se puede observar que el aumento progresivo del porcentaje bagazo de eucalipto en la composición de la mezcla, retardo el crecimiento del diámetro de las plantas, el tratamiento 6 con bagazo de eucalipto como único sustrato presentó los menores crecimientos, en contraste en la mezcla con el menor porcentaje de bagazo de eucalipto (30%) el crecimiento de la variable fue el mayor. La mezcla 2 compuesta por los materiales más utilizados en los viveros de producción en contenedor no presentó los mejores resultados en él

crecimiento del diámetro con respecto al tratamiento 3, sin embargo, los resultados fueron similares a los del tratamiento 4 compuesto por un 50% de bagazo de eucalipto. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Lanuza *et al.* (2021) y Barrios Soto (2016), quienes alcanzaron diámetros promedio en *Ceiba pentandra* de 0.89 y 1 cm respectivamente a los 120 y 136 días después de siembra, producidas en bolsas de polietileno con capacidad de 1.5 y 2.5 L., mientras que las obtenidas en este trabajo presentan crecimientos similares en un contenedor de menor capacidad.

Cuadro 8. Comparación de medias de la variable diámetro de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

Tratamiento	Media $\pm$ D.E.	Agrupamiento Tukey
3	0.63 + 0.07	A
1	0.62 $\pm$ 0.07	B
2	0.53 $\pm$ 0.08	C
4	0.49 $\pm$ 0.07	D
5	0.40 $\pm$ 0.08	E
6	0.28 $\pm$ 0.04	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). D.E.: desviación estándar. T1: 70% cachaza de caña + 30% cascabillo de café. T2: 50% Peat Moss + 30% Agrolita + 20% vermiculita. T3 – 70% cachaza de caña + 30% bagazo de eucalipto. 4 – 50% cachaza de caña + 50% bagazo de eucalipto. T5 – 30% cachaza de caña + 70% bagazo de eucalipto. T6 – 100% bagazo de eucalipto.

En la Figura 1, se muestran los resultados de crecimiento del diámetro que presentaron las plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor hasta los 120 días en vivero, se puede observar que desde el inicio del experimento las plantas del tratamiento 3 presentaron un crecimiento constante y mayor en comparación con los otros tratamientos, situación similar se dio en el tratamiento 6 pero de manera inversa. Así también, se observa que a los 70 días después de la siembra el crecimiento se aceleró,

lo cual coincide con la etapa de fertilización, pero esto no fue general para todos los tratamientos, ya que en el tratamiento 6, compuesto solamente por bagazo de eucalipto, el crecimiento continuó lento. El tratamiento 3 fue el que mejores crecimientos presentó después de la etapa de fertilización.

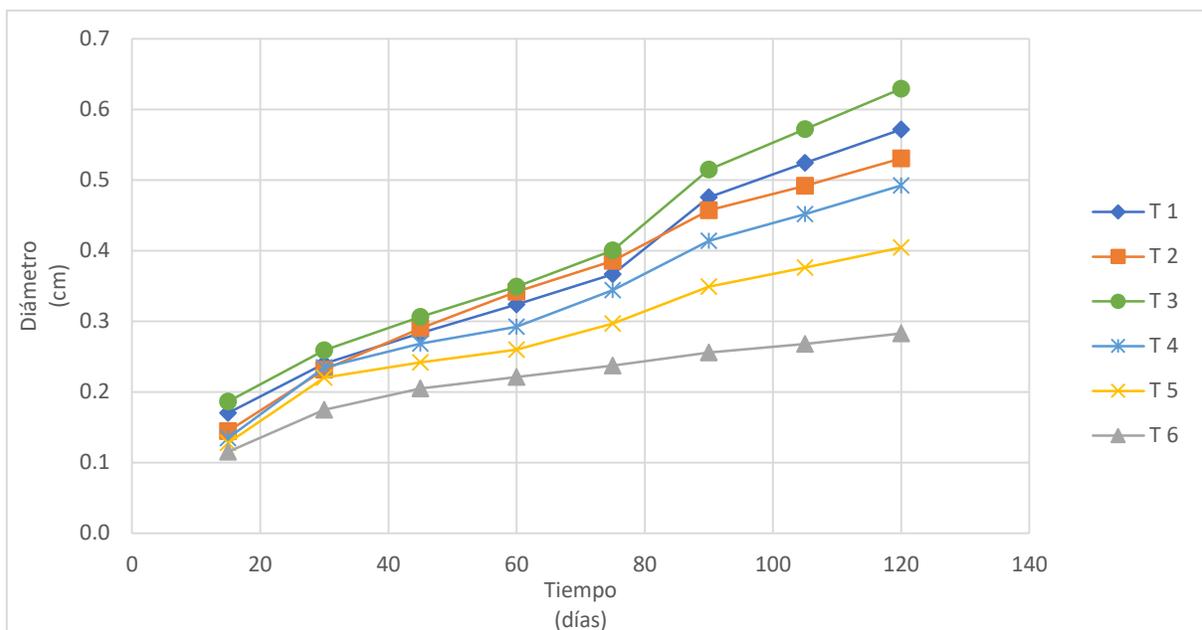


Figura 1. Crecimiento en diámetro de *Ceiba pentandra* producida en contenedor.

## 4.2 Altura

Los resultados del análisis de varianza realizado para la variable crecimiento en altura en plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor (Cuadro 9), muestran que entre los tratamientos evaluados existen diferencias estadísticas significativas con un grado de confiabilidad del 95%.

En el análisis de comparación de medias (Cuadro 10), se observó que los tratamientos con mayores crecimientos fueron 3 y 1, los cuales tuvieron 70% de cachaza en la mezcla y 30% de cascabillo de café y bagazo de eucalipto respectivamente, en una relación porcentual 70:30 en ambas mezclas. El tratamiento 2 compuesto por Peat Moss, Agrolita y vermiculita mostró un crecimiento de 37.66 cm, 12 cm menos que el mejor tratamiento (3). Así también en los tratamientos 2 y 4 los crecimientos fueron

muy similares. El tratamiento 6 compuesto por 100% de bagazo de eucalipto como sustrato presentó una diferencia de 41 cm menos en crecimiento con respecto al tratamiento 3.

Cuadro 9. Análisis de varianza de la variable altura en plantas de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	64174.67	5	12834.93	634.51	<0.0001*
Tratamiento	64174.67	5	12834.93	634.51	<0.0001*
Error	7160.75	354	20.23		

F.V.=fuente de variabilidad, SC=suma de cuadrados, gl=grados de libertad, CM=cuadrado medio.\*estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ )

Lo anterior, fue mayor a los resultados de Lanuza *et al.* (2021), quien registró una altura promedio de 32.5 cm a los 120 días después de la siembra en bolsas de polietileno de 1.5 L con un sustrato compuesto con tierra de monte y cascarilla de arroz. Así como también fue menor, Barrios Soto (2016) reportó una altura promedio de 1 m a los 136 días después de la siembra en bolsas de 2.5 L. con sustrato compuesto de suelo, turba y abono con una relación 1:1. Esto debido a la diferencia de sustratos y tamaño de contenedores.

En la Figura 2, se muestran los resultados del crecimiento en altura de las plantas hasta los 120 días en vivero. Se observa que el tratamiento 3 presentó un crecimiento constante desde el trasplante y obtuvo los mayores valores a lo largo del experimento, en contraste con el tratamiento 6 donde la altura obtenida fue la menor con 9 cm al final de experimento. Así también, se observa que durante todo el periodo de evaluación en los tratamientos con mayor porcentaje de bagazo de eucalipto, el crecimiento, aunque fue constante, se vio más lento en comparación con los tratamientos con mayor porcentaje de cachaza (3 y 1).

Cuadro 10. Comparación de medias de la variable altura de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

Tratamiento	Media $\pm$ D.E.	Agrupamiento Tukey
3	50.04 $\pm$ 4.55	A
1	44.96 $\pm$ 4.93	B
4	37.88 $\pm$ 5.24	C
2	37.66 $\pm$ 5.00	C
5	27.16 $\pm$ 4.6	D
6	9.14 $\pm$ 1.44	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). D.E.: desviación estándar. T1: 70% cachaza de caña + 30% cascabillo de café. T2: 50% Peat Moss + 30% Agrolita + 20% vermiculita. T3 – 70% cachaza de caña + 30% bagazo de eucalipto. 4 – 50% cachaza de caña + 50% bagazo de eucalipto. T5 – 30% cachaza de caña + 70% bagazo de eucalipto. T6 – 100% bagazo de eucalipto

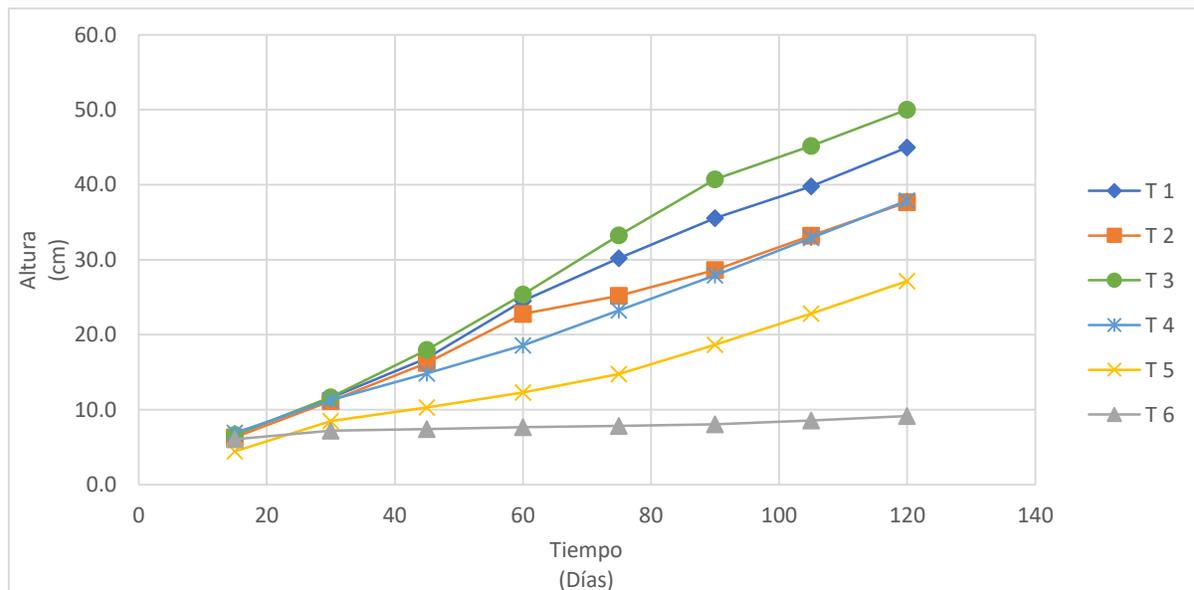


Figura 2. Crecimiento en altura de *Ceiba pentandra* producida en contenedor.

### 4.3 Hojas

Como resultado del análisis de varianza realizado para la variable crecimiento de hojas en plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, con un nivel de confiabilidad del 95% (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza de la variable número de hojas en plantas de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	582.39	5	116.48	63.13	<0.0001*
Tratamiento	582.39	5	116.48	63.13	<0.0001*
Error	653.17	354	1.85		

F.V.=fuente de variabilidad, SC=suma de cuadrados, gl=grados de libertad, CM=cuadrado medio.\*estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ )

Al realizar el análisis de comparación de medias se observa que los mayores crecimientos se obtuvieron en los tratamientos 3 y 1, en los cuales las plantas presentaron un follaje abundante, verde y con tamaños superiores, en estos el factor predominante es el mayor porcentaje de cachaza (70%) y un pequeño porcentaje de bagazo de eucalipto y cascabillo de café (30%), respectivamente. Aunado a esto, las plantas perdieron follaje debido a que comenzó a haber competencia de copas, ya que la densidad aumentó conforme fueron creciendo. El tratamiento 6 mostró los resultados más bajos, sus plantas mostraron hojas escasas y pequeñas debido a que el sustrato no logró proporcionarle a la planta lo necesario para poderse desarrollar correctamente.

En la Figura 3, se muestran los resultados de la cantidad de hojas que presentaron las plantas de *Ceiba pentandra* producidas en los diferentes tratamientos. Se puede observar que las plantas del tratamiento con 30% de bagazo de eucalipto (3), presentaron defoliaciones (de las cuales hubo una recuperación pronta) y tuvieron el

mayor número de hojas, en contraste en el tratamiento con el mayor porcentaje de ese sustrato (6), los periodos de defoliación fueron muy marcados y frecuentes, por lo que al final del experimento la cantidad de hojas fue la menor. El tratamiento 1 demostró tener un número de hojas superiores al tratamiento 3 durante los primeros 60 días, sin embargo, a partir de la 5 medición comenzó su defoliación y ya no logró superarlo. Durante los primeros 45 días, el tratamiento 6 mostró tener más hojas incluso que el tratamiento 3, 4 y 5, sin embargo, a los 60 días después de la siembra tuvo una defoliación severa, perdiendo gran parte de su follaje que recupero escasamente. En general, con excepción del tratamiento 3, los demás tratamientos tuvieron periodos de defoliación muy marcados durante la etapa de evaluación.

Cuadro 12. Comparación de medias de la variable número de hojas de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

Tratamiento	Media $\pm$ D.E.	Agrupamiento Tukey
3	6.18 $\pm$ 1.47	A
1	5.13 $\pm$ 1.42	B
2	4.73 $\pm$ 1.54	BC
4	4.30 $\pm$ 1.23	CD
5	3.97 $\pm$ 1.40	D
6	2.02 $\pm$ 1.03	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). D.E.: desviación estándar. T1: 70% cachaza de caña + 30% cascabillo de café. T2: 50% Peat Moss + 30% Agrolita + 20% vermiculita. T3 – 70% cachaza de caña + 30% bagazo de eucalipto. 4 – 50% cachaza de caña + 50% bagazo de eucalipto. T5 – 30% cachaza de caña + 70% bagazo de eucalipto. T6 – 100% bagazo de eucalipto

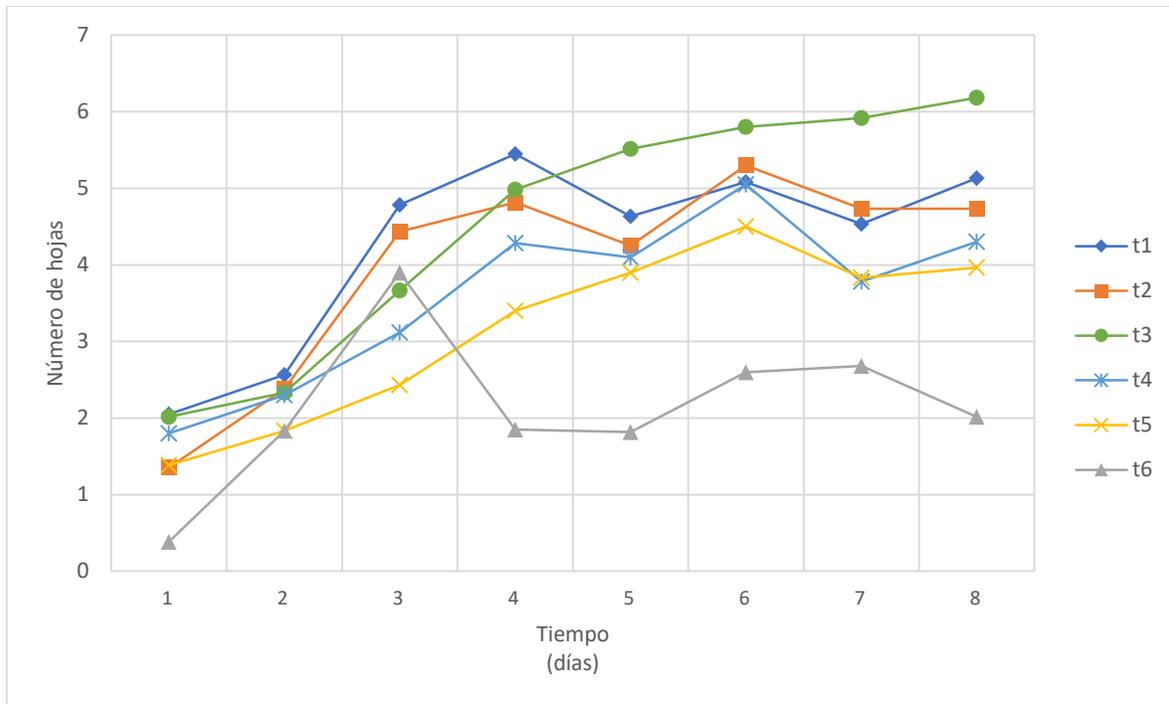


Figura 3. Comportamiento del número de hojas de *Ceiba pentandra* producida en diferentes mezclas de sustratos.

#### 4.4 Relación Biomasa aérea entre biomasa subterránea

En relación con el análisis de varianza realizado para la variable relación biomasa en plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor, en el Cuadro 13 se muestran los resultados que indican que entre los tratamientos evaluados existen diferencias significativas con un grado de confiabilidad del 95%.

De acuerdo con Rodríguez (2008), la relación de la biomasa es un índice morfológico que está relacionado con la supervivencia en campo, cuando la relación es igual a 1 indica que la biomasa aérea y subterránea son iguales, pero si es  $< 1$ , la biomasa de la raíz es mayor que la biomasa aérea, pero si es  $> 1$  la biomasa aérea es mayor que la biomasa de la raíz. En ese sentido, los tratamientos con mayor relación en esta variable fueron los 3 y 1, lo cual indica que si estas plantas fueran a establecerse en un sitio donde hay suficiente humedad, tienen altas probabilidades de supervivencia,

por otro lado, si estas mismas plantas son llevadas a un sitio donde la escasez de humedad en el suelo es predominante, las plantas tendrían pocas posibilidades de sobrevivir debido a que tienen menos raíces y más follaje. Los tratamientos con valores menores en la relación de biomasa (5 y 6) indican que formaron más raíces que follaje, pero la variable por sí sola no se puede considerar como indicador de calidad de las plantas.

Cuadro 13. Análisis de varianza de la relación biomasa en plantas de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8.57	5	1.71	4.18	0.0030*
Tratamiento	8.57	5	1.71	4.18	0.0030*
Error	20.07.	49	0.41		

F.V.=fuente de variabilidad, SC=suma de cuadrados, gl=grados de libertad, CM=cuadrado medio.\*estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ )

Lo anterior, contrasta completamente con Barrios Soto (2016), quien obtuvo una relación biomasa mayor de 8.1 gr. a los 136 días después de la siembra en bolsas de 2.5 L. con sustrato compuesto de suelo, turba y abono, con una relación 1:1.

En la Figura 4, se observan los resultados de la relación de biomasa de follaje y raíz de las plantas evaluadas a los 120 días en vivero. El tratamiento 3 y 1 mostraron los mejores resultados para esta variable con un valor de 1.87 y 1.80, respectivamente, lo cual quiere decir que la biomasa aérea es mayor que la subterránea. Una buena relación debe fluctuar entre 1.5 y 2.8 valores mayores, indican desproporción y la existencia de un sistema radical insuficiente, por lo tanto, hay una buena relación. Los tratamientos 5 y 6 tuvieron los valores más bajos con 0.87 y 0.80, nos indican que la biomasa subterránea es mayor que la aérea, y al estar fuera del rango nos indican plantas desproporcionales.

Cuadro 14. Comparación de medias de la relación biomasa de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

Tratamiento	Media $\pm$ D.E.	Agrupamiento Tukey
3	1.87 $\pm$ 0.16	A
1	1.80 $\pm$ 0.94	A
2	1.55 $\pm$ 0.92	AB
4	1.46 $\pm$ 0.61	BC
5	0.87 $\pm$ 0.24	C
6	0.80 $\pm$ 0.27	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). D.E.: desviación estándar. T1: 70% cachaza de caña + 30% cascabillo de café. T2: 50% Peat Moss + 30% Agrolita + 20% vermiculita. T3 – 70% cachaza de caña + 30% bagazo de eucalipto. 4 – 50% cachaza de caña + 50% bagazo de eucalipto. T5 – 30% cachaza de caña + 70% bagazo de eucalipto. T6 – 100% bagazo de eucalipto.

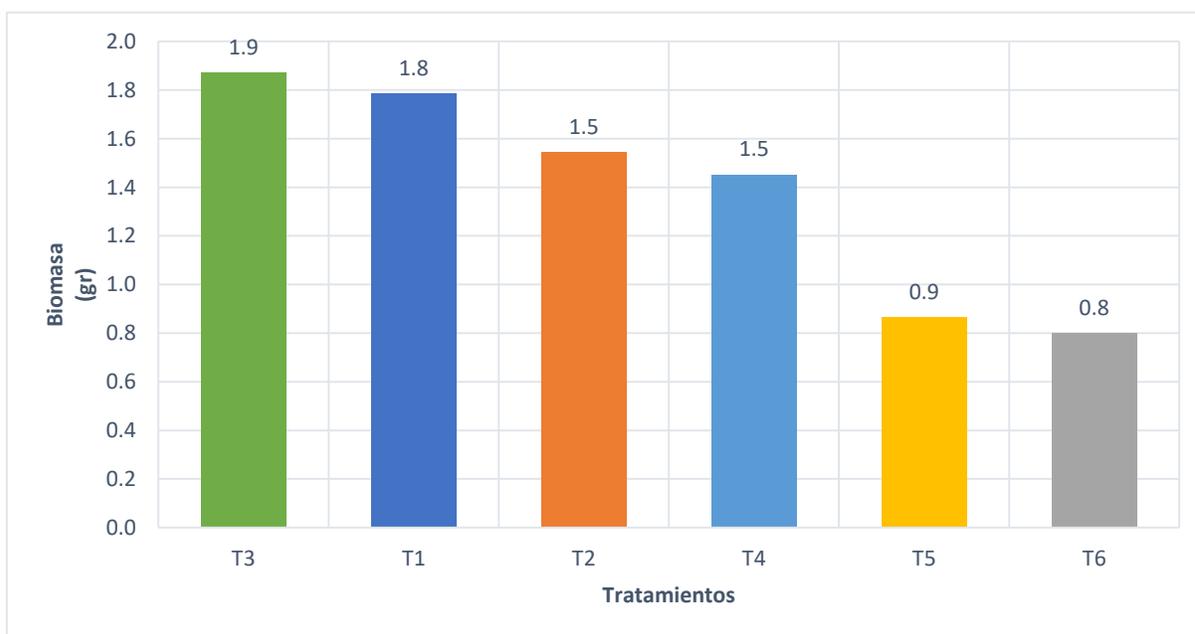


Figura 4. Resultados de la relación biomasa por tratamiento de *Ceiba pentandra* producida en contenedor.

#### 4.5 Índice De Esbeltez

Resultados del análisis de varianza del índice de esbeltez en base al sustrato utilizado en *Ceiba pentandra*. En el Cuadro 15 se muestra que hay diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en el experimento.

Cuadro 15. Análisis de varianza del índice de esbeltez en plantas de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	172.19	5	34.44	49.03	<0.0001*
Tratamiento	172.19	5	34.44	49.03	<0.0001*
Error	34.42	49	0.70		

F.V.=fuente de variabilidad, SC=suma de cuadrados, gl=grados de libertad, CM=cuadrado medio.\*estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ )

Esta variable se obtuvo al dividir el diámetro de la planta entre la altura de la misma, entre más bajo es el valor la planta será de porte bajo y diámetro ancho. Los resultados de la prueba de medias realizados para esta variable indican que los tratamientos 3 y 1 presentaron los mayores valores para esta variable, lo cual indica que las plantas de estos tratamientos son altas y de diámetro delgados, por lo que son aptas para establecerlas en ambientes con buena humedad, por otro lado, en las plantas de los demás tratamientos el índice es menor, lo que indica que esas plantas son de menor altura y con más diámetro, pero este indicador por sí solo no indica la calidad de la planta.

En el año 2021, Lanuza registró que obtuvo un índice de 3.74 en la producción de *Ceiba pentandra* en contenedores de 1.5 L a los 120 días después de la siembra, así como Barrios Soto en 2016 expuso un índice de 10.52 en contenedores de 2.5 L a los 136 días de siembra. Esto contrasta con lo obtenido en este trabajo, debido a que se encontraron resultados superiores en menos días y similares en algunos tratamientos.

Cuadro 16. Comparación de medias del índice de esbeltez de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

Tratamiento	Media $\pm$ D.E.	Agrupamiento Tukey
3	8.88 $\pm$ 0.62	A
1	8.58 $\pm$ 1.00	A
4	7.90 $\pm$ 0.88	AB
5	6.70 $\pm$ 0.79	BC
2	5.72 $\pm$ 0.86	C
6	2.82 $\pm$ 0.84	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). D.E.: desviación estándar. T1: 70% cachaza de caña + 30% cascabillo de café. T2: 50% Peat Moss + 30% Agrolita + 20% vermiculita. T3 – 70% cachaza de caña + 30% bagazo de eucalipto. 4 – 50% cachaza de caña + 50% bagazo de eucalipto. T5 – 30% cachaza de caña + 70% bagazo de eucalipto. T6 – 100% bagazo de eucalipto.

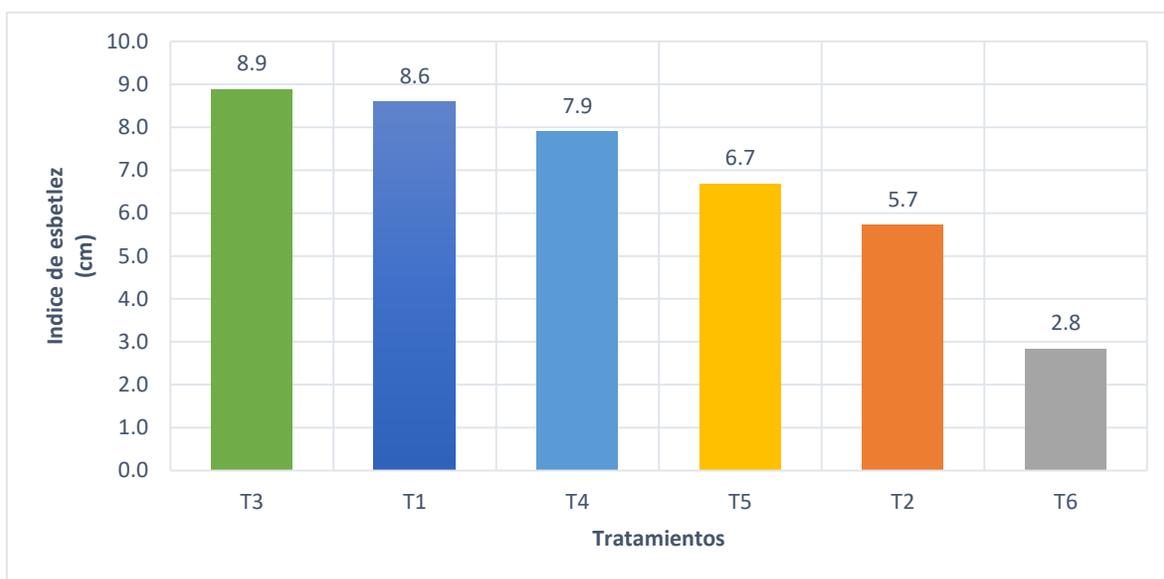


Figura 5. Resultados del índice de esbeltez por tratamiento de *Ceiba pentandra* producida en contenedor.

En la Figura 5 se observa que los tratamientos 3 y 1 obtuvieron los índices de esbeltez más altos con 8.8 y 8.58 respectivamente, la similitud en estos sustratos fue el uso de cachaza de caña, sin embargo, la variante fue el uso de bagazo de eucalipto y cascabillo de café respectivamente. Los valores indican que las plantas de estos tratamientos son robustas y con tallos vigorosos. El tratamiento 6, al contrario, tuvo el valor más bajo, lo que indica una desproporción en altura y diámetro, por lo tanto, fueron plantas de tallos con diámetros delgados.

#### 4.6 Índice De Dickson

Los resultados del análisis de varianza del índice de Dickson en plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor (Cuadro 17), muestran que entre los tratamientos evaluados existen diferencias estadísticas significativas con un grado de confiabilidad del 95%.

Cuadro 17. Análisis de varianza del índice de Dickson en plantas de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.25	5	0.05	8.02	<0.0001*
Tratamiento	0.25	5	0.05	8.02	<0.0001*
Error	0.31	49	0.01		

F.V.=fuente de variabilidad, SC=suma de cuadrados, gl=grados de libertad, CM=cuadrado medio.\*estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ )

En 2010, Sáenz *et al.* realizaron un estudio donde estableció los valores respecto a la calidad de plantas en viveros forestales, puntuó el índice de Dickson de acuerdo a rangos específicos: de 0 a 0.2 como bajo, de 0.2 a 0.5 como medio y mayores a 0.5 como alta. Por lo tanto, los tratamientos 3, 2, 4 y 1 presentaron índices medios y los tratamientos 6 y 5 presentaron índices bajos. Los resultados de la prueba de medias realizados para esta variable indican que el tratamiento 3 presentó los valores más

altos en este índice, lo que se traduce como que las plantas producidas en contenedor de 310 ml con un sustrato a base de 70% de cachaza de caña + 30% de bagazo de eucalipto fueron las plantas de mejor calidad. En contraste con el tratamiento 6, en el cual se obtuvo el índice más bajo, por lo tanto, las plantas en este sustrato no son aptas para ir a campo.

Los resultados obtenidos en este trabajo contrastan con los de Lanuza *et al.* (2021) y Barrios Soto (2016), quienes alcanzaron índices de calidad de Dickson en *Ceiba pentandra* de 0.85 y 1.43 respectivamente a los 120 y 136 días después de siembra, producidas en bolsas de polietileno con capacidad de 1.5 y 2.5 L. De acuerdo con lo propuesto por Sáenz *et al.* (2010), para ambos casos se obtuvo un índice de Dickson alto.

Cuadro 18. Comparación de medias del índice de Dickson de *Ceiba pentandra* producidas contenedor.

Tratamiento	Media $\pm$ D.E.	Agrupamiento Tukey
3	0.31 $\pm$ 0.03	A
2	0.29 $\pm$ 0.03	AB
4	0.26 $\pm$ 0.03	AB
1	0.24 $\pm$ 0.03	AB
5	0.19 $\pm$ 0.03	B
6	0.07 $\pm$ 0.04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). D.E.: desviación estándar. T1: 70% cachaza de caña + 30% cascabillo de café. T2: 50% Peat Moss + 30% Agrolita + 20% vermiculita. T3 – 70% cachaza de caña + 30% bagazo de eucalipto. 4 – 50% cachaza de caña + 50% bagazo de eucalipto. T5 – 30% cachaza de caña + 70% bagazo de eucalipto. T6 – 100% bagazo de eucalipto.

En la Figura 6, se observan los resultados del Índice de Dickson en plantas de *Ceiba pentandra* producidas en contenedor. El tratamiento 3 presentó los mejores resultados

con 0.31, debido a que durante todo el experimento presentó los valores más altos en cada una de las variables utilizadas para el cálculo de este índice (diámetros, alturas, pesos anhidros radiculares y aéreos), en comparación con el tratamiento 6 que presentó un ICD de 0.07 debido a que obtuvo los valores más bajos para las variables ya mencionadas.

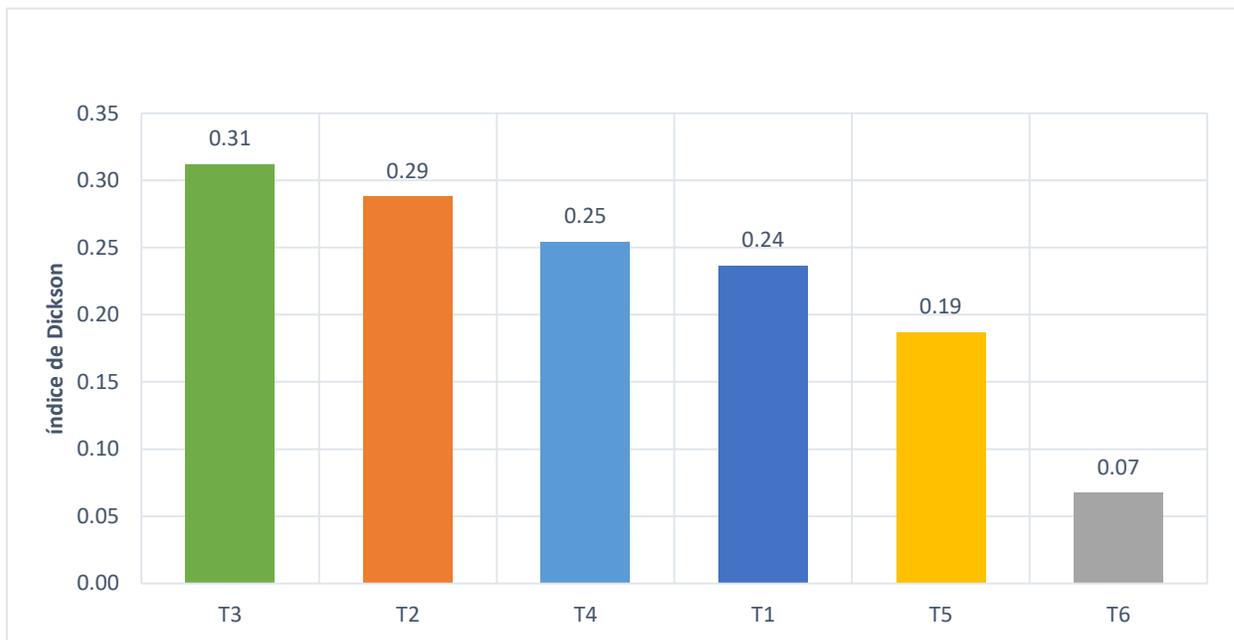


Figura 6. Resultados del índice de Dickson por tratamiento de *Ceiba pentandra* producida en contenedor

## 5 CONCLUSIONES

En el tratamiento seis formado por la mezcla de sustratos con 70 % de cachaza de caña y 30 % de bagazo de eucalipto, se obtuvieron los mejores resultados en todas las variables evaluadas, por lo que es factible la utilización del bagazo de eucalipto para la producción de plantas en contenedor.

En la medida que se aumentó el porcentaje del bagazo de eucalipto en la mezcla, el crecimiento de las plantas fue más lento, por lo que el aumento gradual de este material influyó de manera negativa en el crecimiento de las plantas de *Ceiba pentandra*.

La mezcla con 70% cachaza de caña y 30% cascabillo de café fue el tratamiento con los segundos resultados más altos en cada variable.

El crecimiento y desarrollo de las plantas de ceiba está completamente influenciado por el sustrato, por lo que la exploración para el uso de materiales como el bagazo de eucalipto es una alternativa para disminuir el impacto ambiental causado por la acumulación de estos residuos.

## 6 LITERATURA CITADA

- Abad. (1993). *Sustratos. Características y propiedades*. pp. 47-62. In: Cultivo sin suelo. F. Canovas y J. Díaz. Instituto de Estudios Almerienses. FIAPA
- Alvarado, M.A., y J.A. Solano. (2002). *Producción de sustratos para viveros*. VIFINEX-OIRSA, CRC
- Álvarez, A., Álvarez, A.F.; González, M.M.; López, D; Montiel Salero, D; Ruiz Juárez, L. J.; Olivares Orozco, J.C. (2005). *Uso de sustratos en contenedores una práctica común en la horticultura ornamental, es práctica agrícola sostenible*. 6-8 p.
- Angelone, S., Garibay, M., y Cauhapé, M. (2006). *Geología y geotecnia, permeabilidad de suelos*. Universidad Nacional del Rosario.
- Ansorena. (1994). *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, España, 172 p.
- Antonio, J. (2008). *Evaluación de la cascarilla de café para utilizarse como sustrato en cultivo sin suelo de hortalizas*. Oaxaca. Instituto Politécnico Nacional (IPN)
- Baixauli S., C., y J. M. Aguilar O. (2002). *Cultivo de hortalizas, aspectos prácticos y experiencias*. Generalitat Valenciana. Valencia, España. 110 p.
- Barrios Soto, N. (2016). *Caracterización fenológica en etapa de vivero de moringa (Moringa oleífera Lam), trupillo (Prosopis Julifora), neem (Azadirachta indica), gualanday (Jacaranda Caucana Pittier) y ceiba bonga (Ceiba Pentandra), especies forestales adaptadas al tropico como estrategia de mitigación al cambio climático*. Santa Marta: ECAPMA.
- Benavides, A. M. (2010). *Producción de tomate en el norte de México*. 6to Simposio nacional de Agricultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

- Burés, S. (1998). *Sustratos*. Ediciones Agro técnicas., Madrid, España.
- Cabrera R. (1999). *Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta*. Revista Chapingo Serie Horticultura.
- Calderón. (2005). *Sustratos agrícolas*. Proyecto Fondef D011063; Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. La Pintana, Región Metropolitana, Chile.
- Castro, V., Rodríguez, D., y Vega-Posada, C. (2021). *Bioprecipitación inducida con Cachaza de Caña de Azúcar como Mecanismo Potenciador para el Mejoramiento Estructural de Bloques de Tierra Comprimida*. Revista EIA, 18(35), 1-20.
- CATSA. (2012). *La cachaza y su empleo como abono orgánico en plantaciones de caña de azúcar*. Costa Rica.
- Comisión Nacional del Agua (CNA), (1998). *Cuencas Hidrológicas*, Escala 1:250000, México. (Regiones Hidrología, Cuencas).
- CONANP. (2021). *De mitos y leyendas, la ceiba*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/de-mitos-y-leyendas-la-ceiba?idiom=es>
- Díaz Serrano, F. R. (2004) *Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Memorias IV Simposio Nacional de Horticultura*. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, México. pp. 44-68.
- Dickson, A., Leaf, A. L., y Hosner, J. F. (1960). *Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries*. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10-13.
- Domínguez L., A; Espinosa Z., S. (2021). *Evaluación de sustratos alternativos en la germinación y crecimiento inicial de Hymenaea courbaril L. en condiciones de vivero*. Revista Forestal del Perú 36(1): 107-117.
- Elumalai, A., Mathangi, N., Didala, A., Kasarla, R., y Venkatesh, Y. (2012). *A Review on Ceiba pentandra and its medicinal features*. Asian Journal of Pharmacy Technology, 2(3), 83-86.

- Fernández, L., González, M., y Sáez Sáez, V. (2016). *Relación entre un índice de estabilidad estructural de suelo, la zona bioclimática y la posición fisiográfica en Venezuela*. Terra Nueva Etapa, XXXII (52), 139-149.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). *Propiedades químicas de los suelos*. Recuperado de: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es>.
- García, E. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1998). *Climas*.
- Gribel, R., Gibbs, P. E., y Queiróz, A. L. (1999). *Flowering phenology and pollination biology of Ceiba pentandra (Bombacaceae) in Central Amazonia*. Journal of Tropical Ecology, 15(3), 247-263.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021a) *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional)*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2021b). *Conjunto de datos vectoriales fisiográficos continuo nacional escala 1:1 000 000, serie I*.
- Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1995). *Mapa edafológico. Escalas 1:250 000 y 1:1 000 000. México*.
- Intagri S.C. (2020). *Ventajas de la producción de arándano en contenedor*. Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/frutillas/ventajas-de-la-produccion-de-arandano-en-contenedor>
- Jami Yasser, H. (2021). *Influencia de la fibra de eucalipto en las propiedades físico-mecánica para elaboración del adobe en zonas rurales de Apurímac*. Perú: Universidad César Vallejo.
- Landis T. D.; Tinus R. W.; McDonald S. E. and Barnett J. P. (1990). *Containers and growing media, Vol. 2, The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbook. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

- Lanuza Lanuza, O. Peguero, G. Vilchez-Mendoza, S. y Casanoves, F. (2021). *Efecto del riego y la fertilización sobre la calidad de plántulas forestales con potencial uso para restauración del bosque tropical seco*. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 18(43), 18-28.
- Manals-Cutiño, E., Salas-Tort, D., y Pinedo-Medina, M. (2019). *Caracterización de la biomasa vegetal "Cascarilla de café"*. Tecnología química, 39(1), 191-207.
- Márquez, A. (2020). *Desarrollo de sustrato a base de cascarilla de café para producción de plántula de tomate (Solanum Lycopersicum L.)*. Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis de Licenciatura.
- Nelson, P. (1998). *Manejo y operación de invernadero*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Obrador, D. (1996). *Mejoradores en el manejo de suelos*. UAAAN, México.
- Pastor Sáez, N. (1999). *Utilización de sustratos en Viveros*. Tierra latinoamericana, 17(3), 231-235.
- Pennington, T. D., y Sarukhán, J. (2005). *Arboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. México: UNAM.
- Peralta T, L. M. (2002). *Evaluación de la composta de cáscara de cacao para la producción de plántula y mejorador del suelo*. Tesis Ingeniero Agrónomo en Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Restrepo, J. (1996). *Abonos orgánicos fermentados*. Experiencias de Agricultores de Centroamérica y Brasil. OIT, PSST – AcyP; CEDECE, 51 p.
- Rodríguez, D. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa México. 156 p.
- Rucks, L., García, F., y Kaplan, A. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo-Uruguay.
- Sáenz, J., Villaseñor F., Muñoz J., Rueda, A., Prieto, J. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. (en línea)*. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan,

Michoacán, México. Recuperado de: <http://www.biblioteca.inifab.gob.mx:calidaddelaplantaenviveroforestaldeclimatempladoenmichoacan.pdf>

Salazar, M., Sánchez, M. y Aucatoma, B. (2009). *Uso de cachaza descompuesta y porcentaje de sustitución de fertilización química en un lote del ingenio Valdez*. Centro de investigación de la caña de azúcar del Ecuador.

Salgado, G., Bucio, A., Riestra, D. y Lagunes, L. (2003). *Caña de azúcar: Hacia un Manejo Sustentable*. Colegio de Postgraduados. Tabasco, México. 369 pp.

San Giacomo, M., Garbi, M., Puerta, A., Oyhanto, F., y Gomez, D. (2012) *Manual producción vegetal III*. Universidad Nacional de Lujan.

Santiago Trinidad, O., Sánchez Monsalvo, V., Monroy Rivera, C., y Salazar García, J. (2007). *Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor*. Veracruz, México: INIFAP.

Santiago Trinidad, O., Vargas Hernández, J., Aldrete, A., López Upton, J., y Fierros González, A. (2015). *Sustratos y tamaños de contenedor en el desarrollo de Hevea brasiliensis Müll. Arg. en vivero*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, Vol. 6(31), 94-113.

Segleau-Earle, J. (2012). Árboles medicinales: el ceiba. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5(14), 73–76. Recuperado a partir de <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/427>

Zérega, M. (1993) *Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros*. Caña de Azúcar. 11(2): 71-92.