

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**CRECIMIENTO, DESARROLLO Y CALIDAD DE PLÁNTULAS DE TRES  
ESPECIES ARBÓREAS PROMISORIAS, CONSIDERANDO TIPOS DE  
ENVASES Y DE SUSTRATOS, EN ETAPA DE VIVERO**

POR:

**Yanin Yolani Muñoz Muñoz**

**TESIS**



**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**Agosto, 2025**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**CRECIMIENTO, DESARROLLO Y CALIDAD DE PLÁNTULAS  
DE TRES ESPECIES ARBÓREAS PROMISORIAS, CONSIDERANDO TIPOS  
DE ENVASES Y DE SUSTRATOS, EN ETAPA DE VIVERO**

POR:

**Yanin Yolani Muñoz Muñoz**

**Oscar I. Ferreira Catrileo, M. Sc.**

Director de tesis

TESIS

**PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA  
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RECURSOS  
NATURALES**

**CATACAMAS**

**OLANCHO**

**Agosto, 2025**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN**

## DEDICATORIA

A **Dios Todo Poderoso**, por ser la fuente de mi fortaleza, guía y paciencia. Su amor infinito me ha acompañado en cada paso de este proyecto, dándome la oportunidad y la inspiración para culminar este proyecto que fue una gran experiencia en mi vida.

A mi querido Padre **Abel Muñoz Muñoz**, dedico este trabajo a la memoria de él, quien partió de este mundo dejando en mi un legado de valores, esfuerzo y amor incondicional. Su ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido mi mayor inspiración para alcanzar esta meta.

A mi madre, **María Consuelo Muñoz Rodríguez**, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido el pilar que me ha sostenido. Su confianza en mí y su aliento han sido fundamentales para superar cada desafío.

A mi primo **Gerardo Muñoz** y mi tía **Rosy Muñoz** y **Luis Jiménez**, por ser una presencia constante apoyo y comprensión. Gracias por confiar en mí, por no dejarme nunca sola y por su paciencia en cada etapa de este proceso.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Este logro es el reflejo de su amor, apoyo y fe en mí.

## AGRADECIMIENTOS

Mis más profundos agradecimientos a **Dios Todo Poderoso**, por ser mi fortaleza y darme salud, así como por cuidarme siempre durante todo este proceso. Su guía y protección han sido esenciales para culminar este proyecto.

A mis padres **Abel Muñoz** y **Mirian Muñoz**, por ser mi fuente de inspiración constante. Su amor y apoyo incondicional me han impulsado a seguir adelante en cada etapa, y por eso, siempre les estaré agradecido.

A mi director principal, **M.Sc. Oscar Ferreira**, **M.Sc. Emilio Fuentes** y al **M.Sc. José Adolfo Pineda** por su valioso conocimiento y compromiso en el desarrollo de este proyecto. Al **técnico Tony Muñoz** por el apoyo y conocimientos que me brindo en el vivero y al **Dr. Mariano Sobalbarro** Su apoyo ha sido crucial para la culminación de este trabajo. Al **ing. Misael Cárcamo**, **Universidad Indígena y de los Pueblos (UIP)** y a la **Asociación de Organismos no Gubernamentales (ASONOG)** por el apoyo económico durante mi formación.

A, **María José Espinal**, **Alex López**, **Anny Laínez Katherine Ocampo**, **M.Sc. Debora Mejía**, **Yoel Girón**, **Wilson Funez**, **Paola Mejía**, **Jesús Turcios**, **Diego Sierra** y **Jafet Maldonado** por ser las personas que me acompañaron durante esta lucha. Su presencia y apoyo han sido invaluable.

A **Karina Muñoz** por ser mi amiga incondicional que me ha aconsejado y respaldado durante este tiempo. Su amistad y orientación han sido una gran ayuda en este proceso. A todos ustedes, mis más profundos agradecimientos por formar parte de mi vida y por contribuir significativamente a este logro. Su apoyo ha sido fundamental en cada paso de este camino.

## CONTENIDO

|                                                            |             |
|------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>LISTA DE TABLAS .....</b>                               | <b>vii</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                              | <b>viii</b> |
| <b>LISTA DE ANEXOS .....</b>                               | <b>ix</b>   |
| <b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>                               | <b>1</b>    |
| <b>II. OBJETIVOS .....</b>                                 | <b>2</b>    |
| <b>III. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>                   | <b>3</b>    |
| 3.1. Definición de plantas arbóreas promisorias.....       | 3           |
| 3.2. Plantas arbóreas promisorias .....                    | 3           |
| 3.2. Tipos de sustratos .....                              | 5           |
| 3.3. Sistemas agroforestales .....                         | 6           |
| 3.3.1. Principios de los sistemas agroforestales .....     | 6           |
| 3.3.2. Beneficios (ecológicos, sociales, económicos) ..... | 7           |
| <b>IV. MATERIALES Y METODOS .....</b>                      | <b>8</b>    |
| 4.1. Ubicación del área de trabajo.....                    | 8           |
| 4.2. Materiales y equipo.....                              | 9           |
| 4.3. Enfoque metodológico .....                            | 10          |
| 4.4. Diseño experimental .....                             | 10          |
| 4.5. Descripción de los tratamientos .....                 | 12          |
| 4.6. Factores .....                                        | 12          |
| 4.7. Análisis estadístico .....                            | 14          |
| 4.9. Variables evaluadas.....                              | 15          |
| 4.10. Modelo estadístico.....                              | 18          |
| <b>V. RESULTADOS Y DISCUCIONES.....</b>                    | <b>19</b>   |
| <b>VIII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>                            | <b>43</b>   |
| <b>IX. ANEXOS .....</b>                                    | <b>48</b>   |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Descripción de los sustratos que se utilizaron en el experimento en el estudio de envases y sustratos .....                                              | 12 |
| <b>Tabla 2.</b> Repeticiones de los factores para envases y sus repeticiones en el estudio de envases y sustratos .....                                                  | 13 |
| <b>Tabla 3.</b> Matriz de condición sanitaria <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> en el estudio de envases y sustratos..... | 37 |
| <b>Tabla 4.</b> Costo por producción por cada planta .....                                                                                                               | 38 |
| <b>Tabla 5.</b> pH de los sustratos utilizados en este estudio .....                                                                                                     | 39 |
| <b>Tabla 6.</b> pH de los sustratos utilizados en este estudio .....                                                                                                     | 40 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Ubicación del vivero Agroforestal Sauces, ubicado en Catacamas, Olancho. .                                                                                                                                                                                                                       | 8  |
| <b>Figura 2.</b> Croquis del diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> , en el estudio de envases y sustratos .....                                                                                     | 11 |
| <b>Figura 3.</b> Germinación de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> en semilleros, en el estudio de envases y sustrato. ....                                                                                                                                         | 20 |
| <b>Figura 4.</b> Altura de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> , en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). ....                                                      | 22 |
| <b>Figura 5.</b> Número de hoja de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> , en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). ....                                              | 24 |
| <b>Figura 6.</b> Diámetro de tallo de <i>Liquidambar styraciflua</i> (Liquidambar), <i>Tabebuia rosea</i> (macuelizo) y <i>Dalbergia retusa</i> (granadillo rojo), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). .... | 26 |
| <b>Figura 7.</b> Área foliar de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). ....                                                   | 28 |
| <b>Figura 8.</b> Biomasa aérea y de raíz de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). ....                                       | 30 |
| <b>Figura 9.</b> Índice de veltez de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). ....                                              | 32 |
| <b>Figura 10.</b> Índice de lignificación de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). ....                                      | 34 |
| <b>Figura 11.</b> Índice de Dickson de <i>Liquidambar styraciflua</i> , <i>Tabebuia rosea</i> y <i>Dalbergia retusa</i> en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ). ....                                            | 36 |



## LISTA DE ANEXOS

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1.</b> Resultados prueba estadística variable de altura (cm).....                                                                                                                   | 48 |
| <b>Anexo 2.</b> Resultados prueba estadística variable de número de hojas .....                                                                                                              | 49 |
| <b>Anexo 3.</b> Resultados prueba estadística variable de diámetro .....                                                                                                                     | 50 |
| <b>Anexo 4.</b> Resultados prueba estadística variable de área foliar .....                                                                                                                  | 51 |
| <b>Anexo 5 .</b> Resultados prueba estadística variable de biomasa aérea.....                                                                                                                | 51 |
| <b>Anexo 6 .</b> Resultados prueba estadística variable de peso raíz .....                                                                                                                   | 51 |
| <b>Anexo 7.</b> Resultados prueba estadística variable de peso raíz ..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>                                                                               |    |
| <b>Anexo 8.</b> Resultados prueba estadística variable de veltez.....                                                                                                                        | 52 |
| <b>Anexo 9.</b> Resultados prueba estadística del índice de lignificación.....                                                                                                               | 52 |
| <b>Anexo 10.</b> Resultados prueba estadística del índice de Dickson .....                                                                                                                   | 52 |
| <b>Anexo 11.</b> Preparación y germinación de las especies <i>Liquidambar styraciflua</i> (liquidámbar), <i>Tabebuia rosea</i> (macuelizo) y <i>Dalbergia retusa</i> (granadillo rojo). .... | 53 |
| <b>Anexo 12.</b> Semillas utilizadas en el experimento.....                                                                                                                                  | 54 |
| <b>Anexo 13.</b> Repique y llenado de bolsa .....                                                                                                                                            | 55 |
| <b>Anexo 14.</b> Preparación de los sustratos y elaboración .....                                                                                                                            | 56 |
| <b>Anexo 15.</b> Elaboración de biochar y bocashi.....                                                                                                                                       | 57 |
| <b>Anexo 16.</b> Crecimiento y desarrollo.....                                                                                                                                               | 57 |
| <b>Anexo 17.</b> Condición sanitaria de las plántulas .....                                                                                                                                  | 59 |
| <b>Anexo 18.</b> Toma de datos de las variables, diámetro, altura, área foliar, peso seco, peso húmedo y numero de hojas.....                                                                | 60 |
| <b>Anexo 19</b> Tamizado y tripulación de sustratos .....                                                                                                                                    | 61 |
| <b>Anexo 20.</b> Análisis realizados en el laboratorio pH y materia orgánica.....                                                                                                            | 62 |

Crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de tres especies arbóreas promisorias, considerando tipos de envases y de sustratos, en etapa de vivero. Yanin Yolani Muñoz Muñoz. Tesis ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Honduras. C.A., 72 p.

## RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de varias combinaciones de envases y sustratos en el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa*, con un diseño completamente al azar con arreglo factorial, se analizaron variables de germinación, altura, diámetro, área foliar, biomasa aérea y radicular, índices morfológicos y condición sanitaria. Los resultados mostraron que *L. styraciflua* presentó el mayor porcentaje de germinación (89%), mientras que *D. retusa* registro un proceso mas lento (69%). En altura y diámetro, sobresalieron las combinaciones con turba, principalmente en envases de polietileno y biodegradables. El índice de Dickson y los sats de biomasa reflejaron que la relación equilibrada entre parte aérea y raíz determina la calidad de la plántula. Asimismo, el pH y el contenido de materia orgánica de los sustratos que influyeron en la respuesta de las especies, siendo la turba y sus mezclas más favorables. Se concluye que la especie *L. styraciflua* alcanzo los mejores índices de calidad en envase de polietileno con turba, mientras que *T. rosea* y *D. retusa* respondieron mejor en envases biodegradables combinados con turba y tierra. Se recomienda regular la humedad para evitar problemas fitosanitarios y priorizar el suelo de sustratos orgánicos balanceados para garantizar plántulas vigorosas y adaptables al campo.

**Palabras clave:** Biochar, bocashi, porcentaje de germinación, turba, biodegradable, polietileno, sustrato, materia orgánica y pH.

## I. INTRODUCCIÓN

El estudio del crecimiento y desarrollo de las plantas y la calidad de sus plántulas resulta significativo, ya que tiene mucha importancia porque de ello depende tener plantas fuertes y de calidad. Lo anterior, por ello es la urgencia de promover la reforestación y conservación de ecosistemas para mitigar el cambio climático. Los ecosistemas forestales se han visto afectados por una drástica disminución de sus recursos, por la sobreexplotación sufrida en el último siglo, lo que ha acentuado su progresiva degradación y deterioro. Las causales de esta disminución son variadas y complejas, involucrando tanto aspectos sociales como económicos. Por ello, es necesario encontrar innovaciones que contemplen la conservación y gestión de los recursos naturales existentes (Villarreal *et al.* 2023).

Para recuperar las áreas deforestadas es importante el estudio de sustratos y envases que contribuyan a un mejor desarrollo del sistema radicular. La selección de los tipos de envases y los sustratos indicados son especialmente determinantes para asegurar condiciones favorables durante la fase de vivero. Los envases adecuados brindan beneficios para las plántulas a establecer un sistema radicular saludable, al igual que los sustratos influyen mediante el aporte de nutrientes, la retención de agua e incluso la aireación requerida, no solo influyendo en el crecimiento de las plántulas, sino también su resistencia y adaptabilidad en condiciones de trasplante (Salto *et al.* 2013).

Este estudio se realizó en el vivero Agroforestal Sauces, ubicado en la Universidad Nacional de Agricultura coordinado por el Departamento Académico de Bosques y Biodiversidad, con el objetivo de evaluar el crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de especies arbóreas promisorias considerando el uso de tipos de envases y sustratos, en etapa de vivero. Los resultados relevantes para hacer recomendaciones sobre la producción de plántulas de alta calidad para satisfacer las necesidades de los programas de reforestación, restauración ecológica y manejo sostenible de los recursos forestales.

Con este enfoque, se aporta al desarrollo de prácticas más eficientes y sostenibles en la producción de plántulas, respondiendo a las demandas actuales de conservación ambiental y manejo de recursos naturales.

## II. OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar el crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de especies arbóreas promisorias considerando los tipos de envases y sustratos, en etapa de vivero.

### Objetivos Específicos

- a. Monitorear la germinación de *Liquidambar styraciflua*, (liquidámbar) *Tabebuia rosea* (macuelizo) y *Dalbergia retusa* (granadillo rojo).
- b. Cuantificar el desarrollo de las plántulas de *Liquidambar styraciflua*, (liquidámbar) *Tabebuia rosea* (macuelizo) y *Dalbergia retusa* (granadillo rojo) considerando tipos de envases y de sustratos.
- c. Evaluar la calidad de las plántulas de *Liquidambar styraciflua*, (liquidámbar) *Tabebuia rosea* (macuelizo) y *Dalbergia retusa* (granadillo rojo) considerando tipos de envases y de sustratos.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Definición de plantas arbóreas promisorias

“Las especies vegetales promisorias, tienen alto potencial agroindustrial, pero sin desarrollo comercial masivo. Incluyen especies nativas con diversos usos industriales, aunque carecen de avances en domesticación, procesamiento y mercados, sirviendo como sustitutos de materias primas” (Álvarez 2014).

#### 3.2. Plantas arbóreas promisorias

##### a. Liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*)

“El liquidámbar es un árbol longevo de hasta 45 m. Crece en zonas húmedas y elevadas. Su madera, pesada y densa, es utilizada en muebles, ebanistería y artesanía. También se planta con fines ornamentales y de sombra” (Loewe y González 1997).

##### b. Granadillo (*Dalbergia retusa*)

“Alcanza 15-20 m de altura y 40-70 cm de diámetro. Tiene base cónica o alargada, fuste irregular o recto y copa umbelada. Su corteza, de 1-2 cm de grosor, es fisurada, áspera y se desprende en piezas irregulares” (Miranda y Fenley 2023).

##### c. Cortez amarillo (*Handroanthus chrysanthus*)

“Árbol caducifolio de 12-20 m y 20-40 cm de DAP, con fuste recto, copa amplia e irregular. Su corteza es fisurada y oscura. Se planta para estabilizar ríos, ya que sus raíces actúan como barrera contra inundaciones” (Chuquimarca 2024).

d. Macuelizo (*Tabebuia rosea*)

“El roble (*Tabebuia rosea*) es una planta dicotiledónea de la familia Bignoniaceae con una altura de hasta 30 m y diámetro del fuste a la altura del pecho de hasta 1 m, con flores hermafroditas y semillas aladas para favorecer la diseminación por el viento” (Suarez *et al.* 2006).

3.2.1. Tiempo de germinación de *Dalbergia retusa* (granadillo)

“La germinación es epígea, con radícula brotando entre 3 y 5 días tras la imbibición. Sin embargo, hay poca información al respecto. Esta investigación tuvo como objetivo analizar el efecto de la temperatura en la germinación de las semillas” (García y Stéfano 1999).

3.2.2. Producción de plantas forestales

“La producción de plantas forestales es el proceso de cultivo y propagación de especies arbóreas y arbustivas destinadas a la reforestación, conservación ambiental, restauración de ecosistemas, o producción comercial de madera y otros productos forestales” (Gómez *et al.* 2020).

3.2.3. Tipos de envases

“Las bolsas de polietileno, usadas en la producción de plantas forestales, tienen agujeros inferiores y capacidad de 450 cm<sup>3</sup>. Aunque su uso ha disminuido por problemas como espiralización de raíces y su impacto ambiental, fueron ampliamente empleadas anteriormente” (Martínez 2018).

“El tubete es un cono de polipropileno de 13 cm de altura y 150 cm<sup>3</sup> de capacidad, con estrías internas que orientan las raíces. Su peso es de 22 gramos. La abertura inferior detiene el crecimiento de raíces, promoviendo mayor volumen radicular” (González 2001).

“Los envases biodegradables se descomponen mediante procesos biológicos, utilizando materiales orgánicos como fibra de coco, turba o almidón. Son empleados en la propagación de plantas, permitiendo plantarlas directamente en el suelo y promoviendo un desarrollo radicular adecuado” (García *et al.* 2018).

### 3.2. Tipos de sustratos

“La tierra inorgánica es un suelo compuesto por materiales minerales como arena, limo y arcilla. Carece de materia orgánica en descomposición. Su estructura favorece el soporte a las raíces, buen drenaje y aireación, según su granulometría” (Landis *et al.* 1999).

“La turba es un material orgánico derivado de la descomposición de vegetales, ampliamente utilizado como sustrato en jardinería y agricultura. Es comúnmente empleado en jardines, huertos y cultivos debido a sus propiedades como fertilizante y acondicionador del suelo” (Castillo 2024).

“El biochar es un producto de carbonización obtenido por pirólisis de biomasa y residuos biodegradables, con alto contenido de carbono y baja degradación. Este proceso, junto con el secuestro de carbono en suelos, puede ayudar a mitigar el cambio climático” (Montero *et al.* 2021).

#### 3.2.1. Efectos del biochar sobre la microbiología del suelo

El factor biótico del suelo, como la relación simbiótica entre microorganismos en la rizosfera (micorrizas y rizobacterias), influye en el desarrollo vegetal. El BC mejora las propiedades biológicas del suelo, afectando positivamente su crecimiento y desarrollo. El BC mejora las condiciones del suelo actuando como microhábitat para microorganismos, promoviendo la diversidad microbiana, protegiéndolos de desecación y depredación. También regula el pH, reduce compuestos tóxicos y adsorbe metales pesados y químicos de herbicidas y plaguicidas (Lozano 2022).

### 3.2.2. Técnicas para producir biocarbón

“Existen tecnologías termoquímicas para producir biocarbón, como pirólisis, gasificación y carbonización hidrotérmica (HTC). A diferencia de las otras, HTC no requiere secar la biomasa, permitiendo aprovechar residuos con alto contenido de agua o cosechas recién cortadas” (Cabrera *et al.* 2021).

### 3.2.3 Factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas

“El crecimiento máximo de las plantas se logra cuando los factores necesarios están presentes en cantidades adecuadas. Estos factores incluyen aspectos climáticos, bióticos y edáficos, como precipitación, temperatura, energía radiante, genética, cultivos asociados y características del suelo” (Morales 1977).

### 3.3. Sistemas agroforestales

“Los sistemas agroforestales (SAF) manejan suelo, agua, nutrientes y vegetación, con tres tipos de cobertura: rastrojos, cultivos y árboles dispersos. Son sostenibles en zonas de ladera en el trópico seco, entre 200-900 msnm, aunque también en altitudes de 1200-1500 msnm” (FAO. s.f.).

#### 3.3.1. Principios de los sistemas agroforestales

1. “Diversificación: Integra diferentes especies y sistemas productivos para aumentar la resiliencia y los ingresos de los productores”.
2. “Sostenibilidad: Promueve la conservación del suelo, agua y biodiversidad mediante prácticas como la regeneración natural, el manejo de rastrojos y la no quema” (Nair 2011).
3. “Mitigación del cambio climático: Los SAF contribuyen al secuestro de carbono, la reducción de la erosión y la mejora de los microclimas locales” (Cialdella *et al.* 2023).



4. “Beneficio mutuo: Busca interacciones entre los componentes del sistema, mejorando la productividad total y los servicios ecosistémicos” (Reubens *et al.* 2007).

### 3.3.2. Beneficios (ecológicos, sociales y económicos)

Ecológicos: “Los sistemas agroforestales promueven la conservación de ecosistemas, reducen la erosión, mejoran la fertilidad del suelo. Contribuyen al secuestro de carbono, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, siendo clave en la mitigación del cambio climático” (Montagnini y Nair 2004).

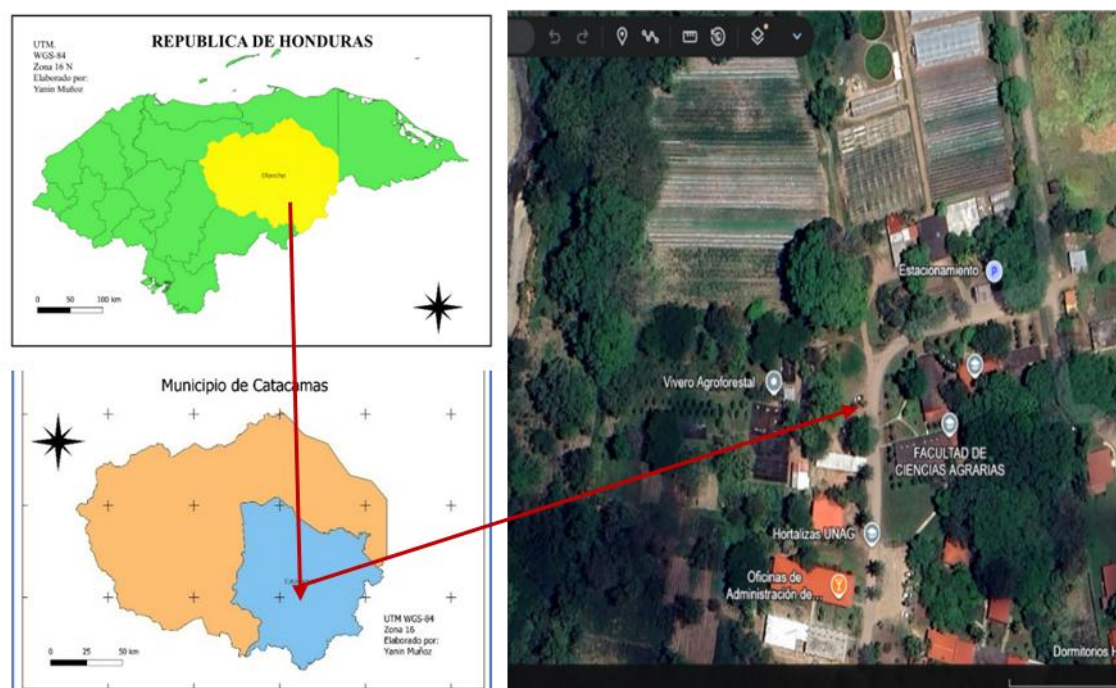
Sociales: La implementación de SAF mejora la vida rural al diversificar alimentos y promover seguridad alimentaria. Integra cultivos básicos, frutas y productos forestales, reduciendo dependencia externa y fortaleciendo la resiliencia frente a crisis. Fomenta la participación comunitaria y el intercambio de conocimientos (Reubens *et al.* 2007).

Económicos: “Los SAF aumentan la productividad e ingresos de pequeños agricultores al diversificar fuentes y reducir costos, mejorando la fertilidad del suelo y reduciendo el uso de insumos, mejoran la estabilidad agroambiental y facilitan transiciones a sistemas sostenibles” (Montagnini y Nair 2004).

## IV. MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Ubicación del área de trabajo

Este trabajo se desarrolló en el vivero forestal Sauces, se encuentra ubicado geográficamente en Catacamas, Olancho, en el campus de la Universidad Nacional de Agricultura. Sus coordenadas son 14°49'59"N 85°50'50"E, con una altitud de 350 m s.n.m (Google Earth, 2025). Este espacio está destinado para la producción de plántulas forestales y también para laboratorios de campo, facilitando tanto la producción de especies arbóreas para la conservación en el ámbito forestal (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación del vivero Agroforestal Sauces, ubicado en Catacamas, Olancho.

#### 4.2. Materiales y equipo

Para los materiales, se utilizaron bolsas de polietileno y bolsas biodegradables, regla, libreta, lápices, mano de obra, paletas, marcador, leña, arena, aserrín, vacaza, gallinaza, hojarasca, regadera, manguera canastas para semilleros y los equipos computadora, calculadora, medidor de pH, pie de rey, metro, regla. Para el trabajo de laboratorio se empleó un horno para secar las muestras y una balanza analítica para medir el peso de las plantas, matraz Erlenmeyer. Se adquirieron tres especies promisorias *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa*.

En la primera etapa se realizó un semillero de cada una de las especies a estudiar, *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa*, como primera actividad haciendo uso de arena se aplicó agua hervida que es un método de esterilización para eliminar plagas que puedan afectar a las plántulas. Las semillas fueron adquiridas dos especies en la empresa Semillas Tropicales (SETRO) y una especie en el banco de Semillas de UNACIFOR.

En esta fase dos se realizó el repique de las plántulas a sus respectivos envases, se consideró el tiempo de cada una de las especies para realizar el repique tomando en cuenta el número de hojas (cuatro hojas); en esta fase se hizo el llenado de bolsas de polietileno y biodegradables para su respectivo repique, se realizaron mediciones periódicas de las plantas que conformaron cada unidad experimental, se tomaron las siguientes variables; la altura de la planta, diámetro, número de hojas y área foliar. Se utilizaron instrumentos de medición como ser regla, pie de rey, marcadores para rotulación de las especies, paletas, cintas métricas y libretas.

Además, se llevó a cabo la caracterización del suelo de los tipos de sustratos, se analizó pH y contenido de materia orgánica, Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Agricultura, abarcando siete evaluaciones una para cada uno de los sustratos y evaluando individual el bocashi, biochar y turba. En la fase tres se evaluó la calidad de las plántulas arbóreas promisorias mediante pruebas y técnicas especializadas para determinar la calidad de las plántulas.

Se utilizó una muestra de tres plantas por tratamiento, con el fin de analizar la Veltez, la biomasa aérea y radicular, área foliar, así como el grado de lignificación de las especies a estudiar, considerando variables como el tipo de sustrato y envase, Se empleó el índice de calidad de Dickson, el cual integra variables de crecimiento y biomasa para determinar la calidad de las plántulas.

Los resultados obtenidos fueron registrados y procesados mediante software como *PowerPoint®*, *Excel®*, *Word®*, *Easy Leaf Área®*, *Qgis®* y *Rstudiot®* lo que permitió un análisis con un margen de error mínimo, estas herramientas facilitaron la generación de tablas y gráficos para la presentación de los datos obtenidos.

#### 4.3. Enfoque metodológico

El procedimiento metodológico que se realizaron en este estudio es cuantitativo, para responder las interrogantes mediante datos obtenidos durante todo el proceso, los cuales responden a las hipótesis que plantean los objetivos.

#### 4.4. Diseño experimental

En esta etapa del estudio, se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial el cual consiste en una metodología estadística para el estudio de los factores en una variable de respuesta en este caso los tipos de sustratos y los tipos de envases (Figura 2). El modelo general para un diseño completamente al azar con un arreglo factorial se expresa:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \epsilon_{ijk}.$$



**Figura 2.** Croquis del diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa*, en el estudio de envases y sustratos

#### 4.5. Descripción de los tratamientos

Se emplearon cuatro tipos de sustratos (combinaciones), los cuales fueron; S1: 40% bocashi, 40% biochar, 20% suelo; S2: 47% bocashi, 13% biochar, 23% aserrín descompuesto, 14 % fertilizante. S3: 70% turba, 30% suelo y S4 suelo sustrato estándar sin modificaciones 250 kg. Se utilizaron dos tipos de envases: bolsa de polietileno y bolsa biodegradable (Tabla 1).

**Tabla 1.** Descripción de los sustratos que se utilizaron en el experimento de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa*, en el estudio de envases y sustratos.

| Combinaciones de los sustratos | Descripción                                                                                             |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Combinación 1                  | <b>S1:</b> 40% bocashi, 40% biocarbón, 20% suelo (265.9 kg)                                             |
| Combinación 2                  | <b>S2:</b> 47% bocashi, 3% suelo, 13% biochar, 23% aserrín descompuesto, 14 % fertilizante (545.45 kg). |
| Combinación 3                  | <b>S3:</b> 70% turba, 30% suelo (236.81 kg)                                                             |
| Combinación 4                  | <b>S4</b> 100% suelo sin modificaciones (250 kg)                                                        |
| Envases                        | Bolsa de polietileno, bolsa biodegradable                                                               |

#### 4.6. Factores

Los tratamientos del experimento se obtuvieron de la combinación de los dos niveles del factor A por los cuatro niveles del factor B por los tres niveles del factor C, (2x4x3), resultando en un total de 24 tratamientos. La unidad experimental está constituida por 6 plántulas. La tabla muestra los tres factores que se evaluaron, y las cantidades de cada factor, ya que el diseño es completamente al azar con un arreglo factorial (Tabla 2).

**Tabla 2.** Repeticiones de los factores para envases y sus repeticiones en el estudio de envases y sustratos

| N° | Envases                  | Sustrato    | Especie                            | Combinación |
|----|--------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|
| 1  | E1: bolsa de polietileno | S1: biochar | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E1S1P1      |
| 2  | E1: bolsa de polietileno |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E1S1P2      |
| 3  | E1: bolsa de polietileno |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E1S1P3      |
| 4  | E1: bolsa de polietileno | S2: Aserrín | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E1S2P1      |
| 5  | E1: bolsa de polietileno |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E1S2P2      |
| 6  | E1: bolsa de polietileno |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E1S2P3      |
| 7  | E1: bolsa de polietileno | S3: Turba   | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E1S3P1      |
| 8  | E1: bolsa de polietileno |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E1S3P2      |
| 9  | E1: bolsa de polietileno |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E1S3P3      |
| 10 | E1: bolsa de polietileno | S4: Tierra  | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E1S4P1      |
| 11 | E1: bolsa de polietileno |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E1S4P2      |
| 12 | E1: bolsa de polietileno |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E1S4P3      |
| 13 | E2: bolsa biodegradable  | S1: biochar | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E2S1P1      |
| 14 | E2: bolsa biodegradable  |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E2S1P2      |
| 15 | E2: bolsa biodegradable  |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E2S1P3      |
| 16 | E2: bolsa biodegradable  | S2: Aserrín | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E2S2P1      |
| 17 | E2: bolsa biodegradable  |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E2S2P2      |
| 18 | E2: bolsa biodegradable  |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E2S2P3      |
| 19 | E2: bolsa biodegradable  | S3: Turba   | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E2S3P1      |
| 20 | E2: bolsa biodegradable  |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E2S3P2      |
| 21 | E2: bolsa biodegradable  |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E2S3P3      |
| 22 | E2: bolsa biodegradable  | S4: Tierra  | P1: <i>Liquidambar styraciflua</i> | E2S4P1      |
| 23 | E2: bolsa biodegradable  |             | P2: <i>Tabebuia rosea</i>          | E2S4P2      |
| 24 | E2: bolsa biodegradable  |             | P3: <i>Dalbergia retusa</i>        | E2S4P3      |

Los experimentos individuales se estructuraron con los datos: tipos de envases (2 niveles), tipo de sustrato (4 niveles) y especies (3 niveles) (2x4x3) lo que genera un total de 24 tratamientos. Se estableció un total de (10) plántulas promisorias por tratamiento y se seleccionaron seis plantas como unidad experimental con tres repeticiones seleccionando cada uno de los tratamientos al azar para ubicarlos en el experimento que se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Agricultura siendo un total de 720 plántulas.

#### 4.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico con un diseño completamente al azar con arreglo factorial, tomando los factores envase, sustrato y especie. Se aplicó un análisis de varianza (ANAVA) con un nivel de significancia del 5% para determinar si existen diferencias significativas en las variables evaluadas. El ANAVA no indica diferencias entre grupos, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey al 5% identificando los tratamientos con diferencias significativas.

#### 4.8. Manejo durante el experimento

La primera actividad que se realizó fue la recolección de los materiales de las diferentes áreas de producción de la Universidad Nacional de Agricultura como ser el área de bovinos, aves, caprinos, el material que se recolectó fue estiércol, cabraza, vacaza, gallinaza para hacer los diferentes sustratos.

Seguidamente se iniciaron con las mezclas de los sustratos, y se procedió al llenado de bolsa, se utilizó arena para los semilleros y se esterilizaron con agua hervida, de las tres especies se realizó el repique y la instalación del experimento siendo 24 tratamientos y 3 repeticiones. Se hizo una cerca perimetral al contorno para protección del experimento.

Se realizaron actividades como labores de manejo como el control de malezas, riego y monitoreo semanal del estado sanitario de las plántulas. En la etapa de semillero, las plántulas de *Dalbergia retusa* y *Liquidambar styraciflua* fueron afectadas por el mal de talluelo, por lo cual se aplicó sulfocálcio.

Por consiguiente, se realizaron actividades de control de maleza, riego y monitoreo cada semana sobre la condición sanitaria de las plántulas, también se midieron las variables cada 10 días durante dos meses; diámetro, altura, número de hojas, área foliar. En el laboratorio de suelos se midieron las variables de peso seco, peso de raíz, biomasa aérea, pH de los sustratos utilizados y contenido de materia orgánica.



#### 4.9. Variables evaluadas

##### a. Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación se calculó para determinar la proporción de semillas que germinaron con éxito en relación con el total de semillas sembradas. La evaluación se basó en el número de semillas emergidas respecto al total sembrado, expresando el resultado en porcentaje. El monitoreo se realizó diario, registrando la cantidad de semillas germinadas en cada tratamiento. Donde se utilizó la fórmula:

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{Número total de semillas germinadas}}{\text{Número de semillas sembradas por semillero}} \times 100$$

##### b. Altura de la planta (cm)

En esta etapa, se inició midiendo la altura desde el cuello de la raíz al ápice de la plántula. Se seleccionaron seis plantas de cada tratamiento siendo un total de 144 unidades por repetición, siendo un total de 432 plantas en las tres repeticiones. Las mediciones se tomaron seleccionando reglas graduadas en cm.

##### c. Número de hojas y área foliar

Se realizó la cuantificación del número de hojas por plántula en seis plantas de cada tratamiento y se midió el área foliar de 3 plantas de los tratamientos con una hoja de cuadrícula con las mediciones de un cm<sup>2</sup>.

##### d. Diámetro del tallo

En esta variable se hizo uso del pie de rey para medir el diámetro de las plántulas. La medición se realizó cada diez días en seis plantas por cada tratamiento se hizo la medición en el diámetro al cuello de la raíz en mm.

e. Veltez:

Esta variable se realizó en tres plántulas que fueron seleccionadas al azar de las seis plántulas que conformaron la unidad experimental y empleando las variables previamente mencionadas (altura y diámetro), se llevó a cabo un estudio para evaluar la velocidad de crecimiento de las plántulas.

El objetivo fue calcular la velocidad del crecimiento de las plántulas a lo largo del tiempo, proporcionando así información detallada sobre su desarrollo durante el período de estudio en la cual se utilizó la fórmula de velocidad.

$$\text{Esbeltez} = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}}$$

f. Biomasa radicular

Para raíces húmedas: Se retiró el sustrato o materia orgánica adherida a las raíces sin someterlas a ningún proceso de secado y se procedió a pesarlas en una balanza analítica para obtener el peso de la raíz húmeda, se realizó este proceso para evitar la pérdida de agua y garantizar datos específicos, se utilizaron tres plantas para evaluar esta variable.

Para raíces secas: se evaluaron las raíces extraídas, las cuales se colocaron en un horno a una temperatura de 60°C en un ambiente controlado, eliminando toda el agua presente., se procedió a pesar las raíces en una balanza analítica, obteniendo así el peso real de las mismas.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{(\text{Peso de raíz húmeda} - \text{Peso de raíz seca}) \times 100}{\text{Peso de raíz húmeda}}$$

g. Biomasa aérea

se cortó el tallo y hojas se utilizaron tres plantas para medir esta variable con el procedimiento: Cosecha, se cortó la parte aérea de la plántula (tallo, hojas) y se procedió al secado, se colocó en una estufa a 60 ° C durante 24 horas, seguidamente se midió el peso seco con una balanza analítica. Para calcular la biomasa aérea en términos de área, se puede usar:

$$\text{Biomasa aérea} = \frac{\text{Peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{Área foliar (cm}^2\text{)}}$$

#### h. Lignificación

Para ello, se seleccionaron muestras representativas de las plántulas experimentales, eligiendo tres plántulas al azar por tratamiento. Al tener tres meses las plántulas se llevaron al laboratorio de suelos para realizar el peso húmedo y de igual manera sacar el peso seco y haciendo uso de esos datos saber los resultados. Los resultados obtenidos proporcionaron información clave sobre la composición de la pared celular y la resistencia estructural de las plantas durante la etapa de vivero.

$$\text{Lignificación (\%)} = \left( \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\text{Peso húmedo total (g)}} \right) \times 100$$

#### i. Índice de Dickson:

El Índice de Dickson se calculó utilizando varias variables adicionales, permitiendo obtener un índice de calidad específico para cada situación. Esta fórmula facilita la evaluación de las diferencias morfológicas entre las plantas de una muestra y ayuda a predecir su comportamiento futuro. El cálculo del índice se realizó para cada una de las plantas evaluadas, proporcionando una medida detallada de su calidad y rendimiento.

$$\frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\left( \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}} \right) + \frac{\text{Peso seco parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de raíz (g)}}}$$

#### j. Condición sanitaria

Se realizó un monitoreo semanal; presencia de hojas amarillentas, marchitas o con necrosis, defoliación (pérdida de hojas), , ramas o raíces, crecimiento anormal o signos de estrés se realizó una vez por semana la inspección. Además, se monitorio la presencia de plagas y enfermedades identificación de insectos perforadores, defoliadores o chupadores, presencia de hongos, líquenes o bacterias patógenas, manchas, podredumbre o canchros en la corteza.

#### k. Coste Económico

Para calcular los costos económicos se tomó el costo de las semillas (precio por especie), el número de envases requeridos por tipo y precio de los sustratos según sus componentes, y los materiales complementarios (biochar y bocashi). También, se suma la mano de obra tomando en cuenta la preparación, siembra, riego y mantenimiento. Finalmente, se multiplica el costo unitario de cada tratamiento por la cantidad de unidades experimentales (combinaciones de especies, envases y sustratos) y se agregaron costos indirectos, como transporte y energía, para obtener el costo total del proyecto.

#### 4.10. Modelo estadístico

El modelo estadístico para un experimento de diseño completamente al azar con arreglo factorial se utiliza para analizar el efecto de dos factores en una variable de respuesta, considerando tanto los efectos individuales como las interacciones entre ellos. Se presenta una descripción detallada del modelo, su formulación y un ejemplo práctico:

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

Modelo estadístico de diseño completamente al azar con un arreglo factorial, estructura del modelo:

$Y_{ijk}$  es el valor observado de la respuesta en la combinación  $i, j, k$ ,  $i, j, k$ ,  $i, j, k$ ,

$\mu$  es la media general (promedio global de la respuesta),

$\alpha_i$  es el efecto del factor AAA en el nivel  $i$ ,

$\beta_j$  es el efecto del factor BBB en el nivel  $j$ ,

$\gamma_k$  es el efecto del factor CCC en el nivel  $k$ ,

$(\alpha\beta)_{ij}$  es el efecto de la interacción entre AAA y BBB,

$(\alpha\gamma)_{ik}$  es el efecto de la interacción entre AAA y CCC,

$(\beta\gamma)_{jk}$  es el efecto de la interacción entre BBB y CCC,

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$  es el efecto de la interacción de los tres factores AAA, BBB, y CCC,

$\epsilon_{ijk}$  es el error asociado con la observación  $Y_{ijk}$ , que se asume que sigue una distribución normal con media cero y varianza constante.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

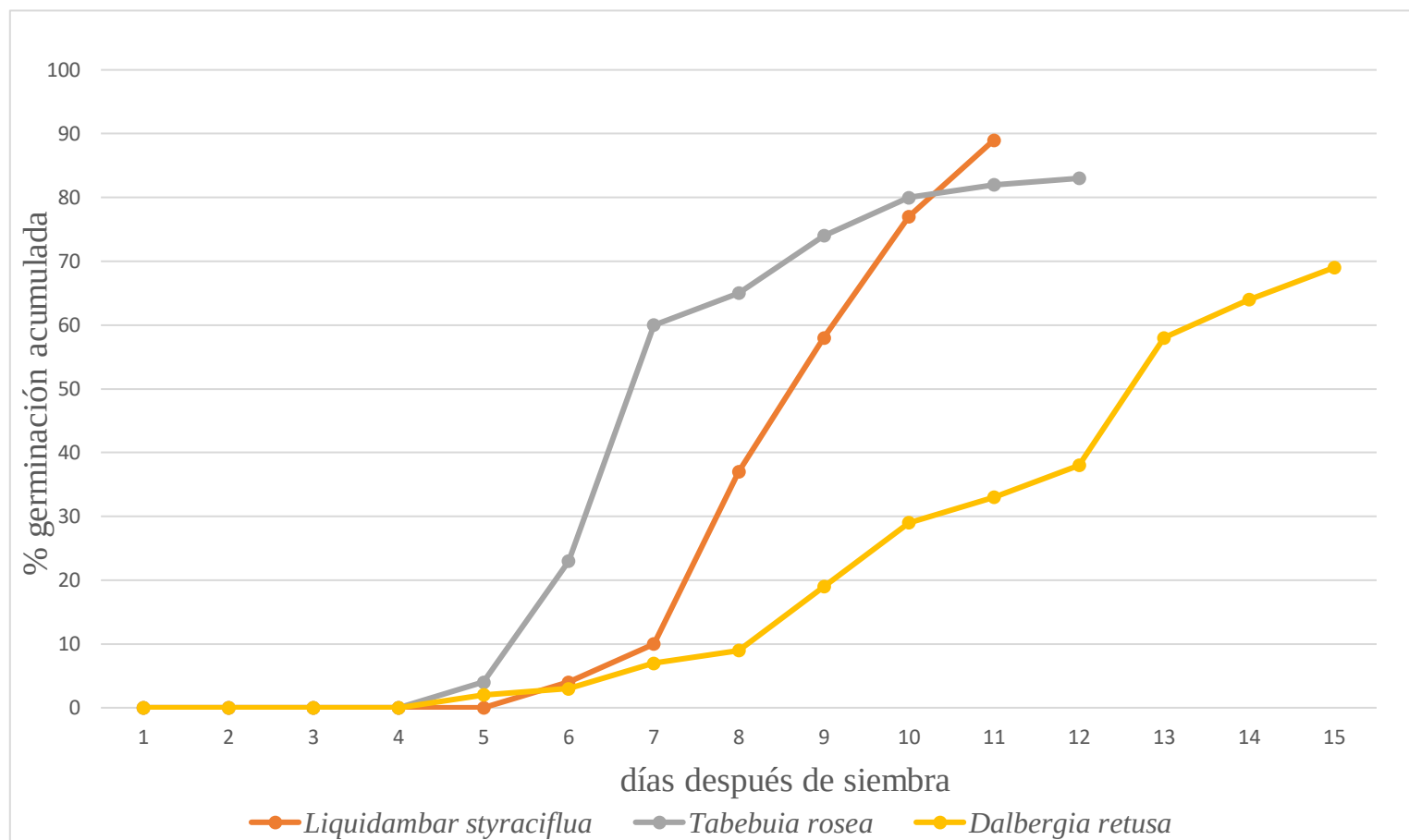
### 5.1. Porcentaje de germinación

Durante el proceso de germinación, *Liquidambar styraciflua* mostró la mayor tasa de germinación, alcanzando un 89% al día 11 después de la siembra. Esta especie comenzó a germinar rápidamente a partir del día 6, con un aumento notable en el número de plantas germinadas entre los días 7 y 10, lo que indica un proceso eficiente y rápido. *Tabebuia rosea* también presentó una buena tasa de germinación, aunque en menor cantidad de plántulas.

A pesar de que su tasa fue un poco más lenta que la de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* alcanzó un 82% de germinación al día 12, lo que muestra que la especie aún tiene una germinación bastante eficiente, aunque menos rápida. En comparación, *Dalbergia retusa* tuvo un proceso mucho más lento, con un incremento gradual en la germinación a lo largo de los 15 días, alcanzando 69% al final (Figura 2). Este patrón sugiere que esta especie tiene una germinación más prolongada y dispersa en el tiempo, en comparación con las otras dos especies, lo que podría estar relacionado con características específicas de su biología, condiciones ambientales de las especies y su semilla con baja viabilidad.

Durante este proceso de germinación, se presentó un problema fitosanitario relacionado con la aparición del mal de talluelo en algunas bandejas, especialmente en las que se mantenían con mayor humedad. Esta enfermedad es causada por hongos del suelo que proliferan en condiciones de exceso de agua y poca ventilación, afectando principalmente a plántulas recién emergidas, debilitando su tallo y provocando su muerte.

En este caso, el problema surgió debido al exceso de humedad y una mala regulación de la humedad en el sustrato, lo que favoreció el desarrollo del hongo. Aunque no afectó significativamente los porcentajes de germinación reportados, sí se observó mortalidad en algunas plántulas, en especial en *D. retusa* murieron 8 plántulas de las 69 que germinaron debido a que permaneció más tiempo en condiciones vulnerables (Figura 3).



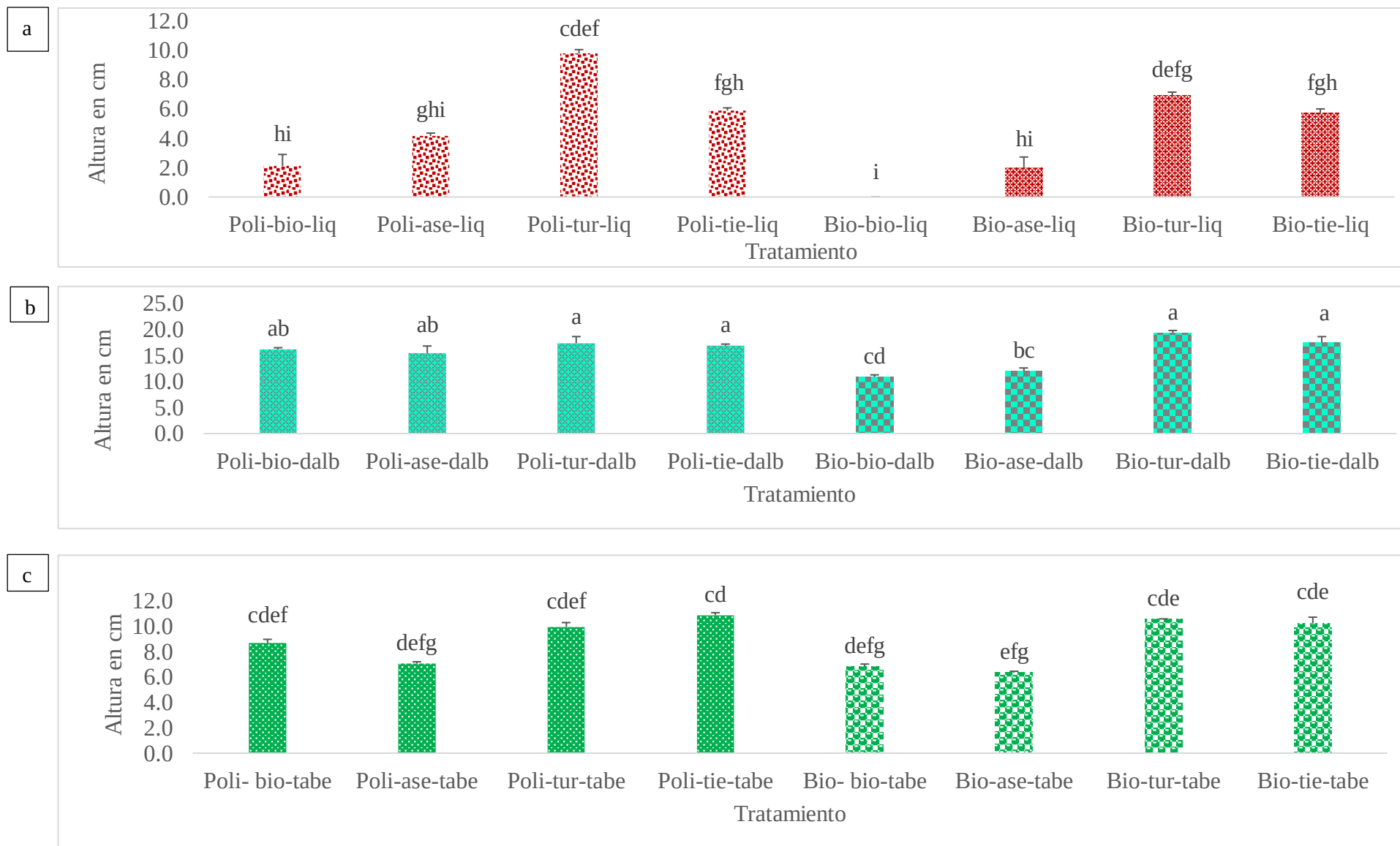
**Figura 3.** Germinación de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* en semilleros, en el estudio de envases y sustrato.

## 5.2. Altura de la planta

La especie de *Liquidambar styraciflua* en la interacción de los tres factores muestra diferencias significativas ( $P < 0,05$ ). resaltando el T7 (polietileno, turba) y el T19 (biodegradable, turba), cabe destacar que en este tratamiento se mostró un mejor desarrollo de las plantas y una menor afectación de las enfermedades, obteniendo plantas más vigorosos y saludables.

Esto está respaldado por investigaciones que han evaluado diferentes sustratos en la producción de plantas en vivero. González (2018) evaluó el uso de sustratos a base de aserrín crudo con fertilización controlada y encontró que estos sustratos pueden mejorar el crecimiento de las plantas.

La especie de *Tabebuia rosea* la combinación de polietileno, tierra tuvo una mejor respuesta a la variable de altura, la especie de *Dalbergia retusa* la combinación del envase biodegradable y turba mostraron un mejor crecimiento (Figura 4).



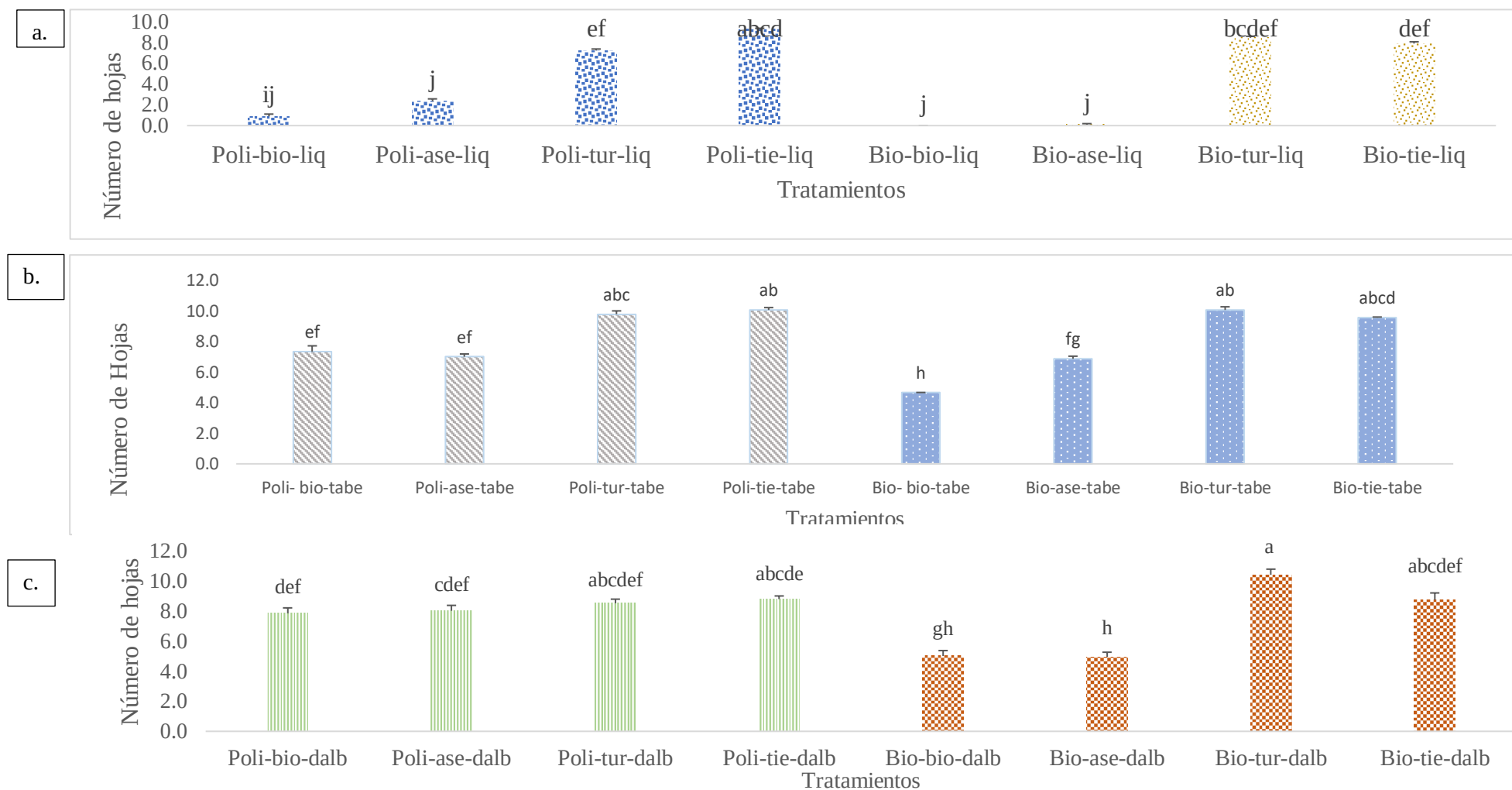
**Figura 4.** Altura de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa*, en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).



### 5.3. Variable de número de hojas

Pineda (2016) estudió el crecimiento de *Tabebuia rosea* en vivero, observando diferencias significativas en el número de hojas, entre las especies la información analizada concuerda con los datos obtenidos de que, si hay diferencias significativas y en un porcentaje menor el envase con un 2% siempre influyo con un efecto menos significativo, pero siempre importante ya que influye en el proceso del experimento y en los resultados obtenidos.

La especie de *Liquidambar styraciflua* en el T10 (polietileno, tierra) obtuvo mayor número de hojas y el mismo valor obtuvo el T20 (biodegradable, turba) en la especie de *Tabebuia rosea*, y en la especie de *Dalbergia retusa* el tratamiento con mayor número de hojas fue el T21 y al igual dentro de los 24 tratamientos destaco con más hojas (Figura 5).

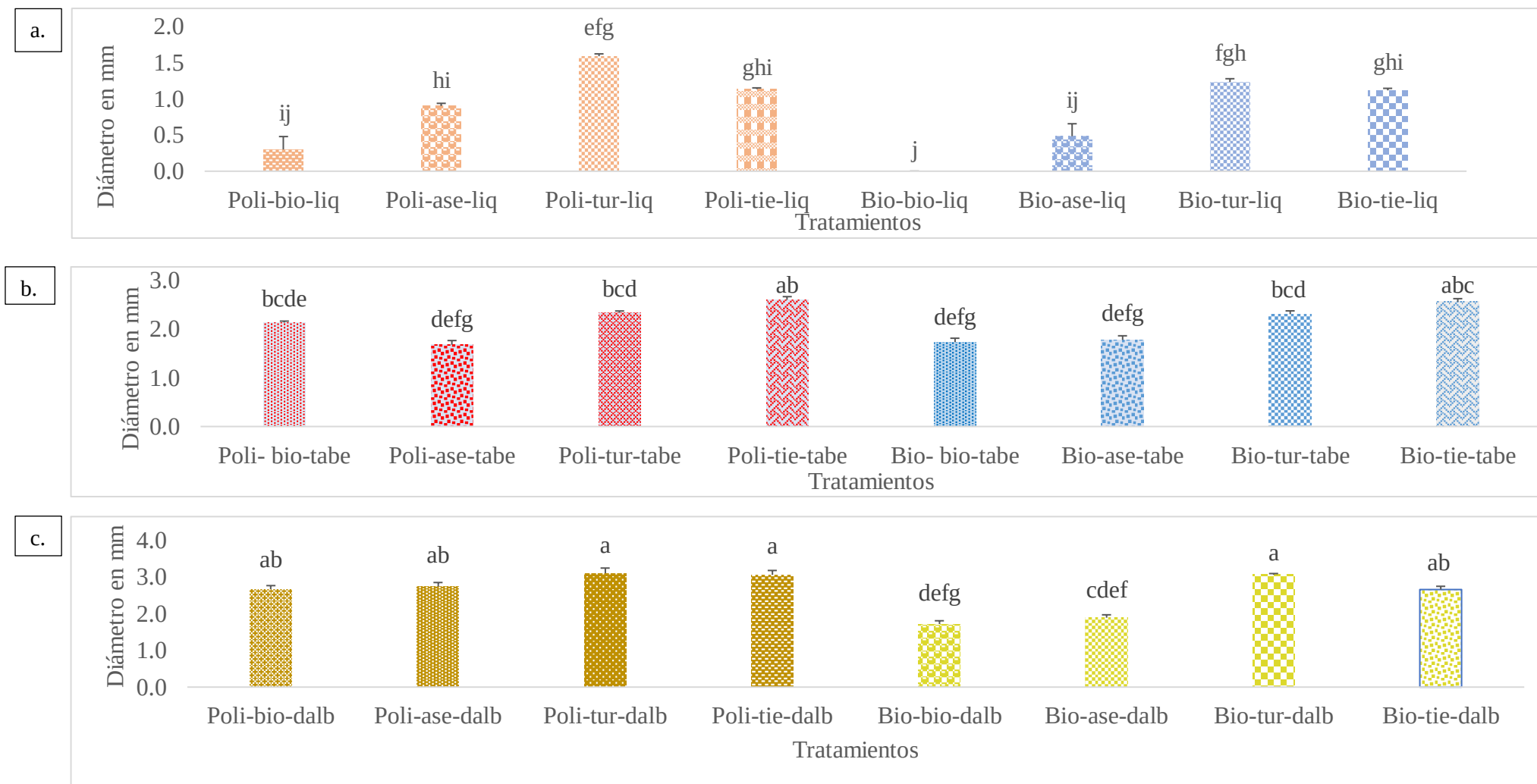


**Figura 5.** Número de hoja de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa*, en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

#### 5.4. Diámetro

En la interacción envase sustrato y planta para la especie de *Liquidambar styraciflua* el T7 (polietileno, turba) con un mayor diámetro, en esta especie el T13 no se ve reflejado el diámetro ya que en las tres repeticiones este tratamiento murió por condiciones de pH en los sustratos. Los resultados del análisis de varianza para el crecimiento en diámetro muestran evidencias altamente significativas de que existen diferencias entre tratamientos (Mora Santacruz *et al.* 2006).

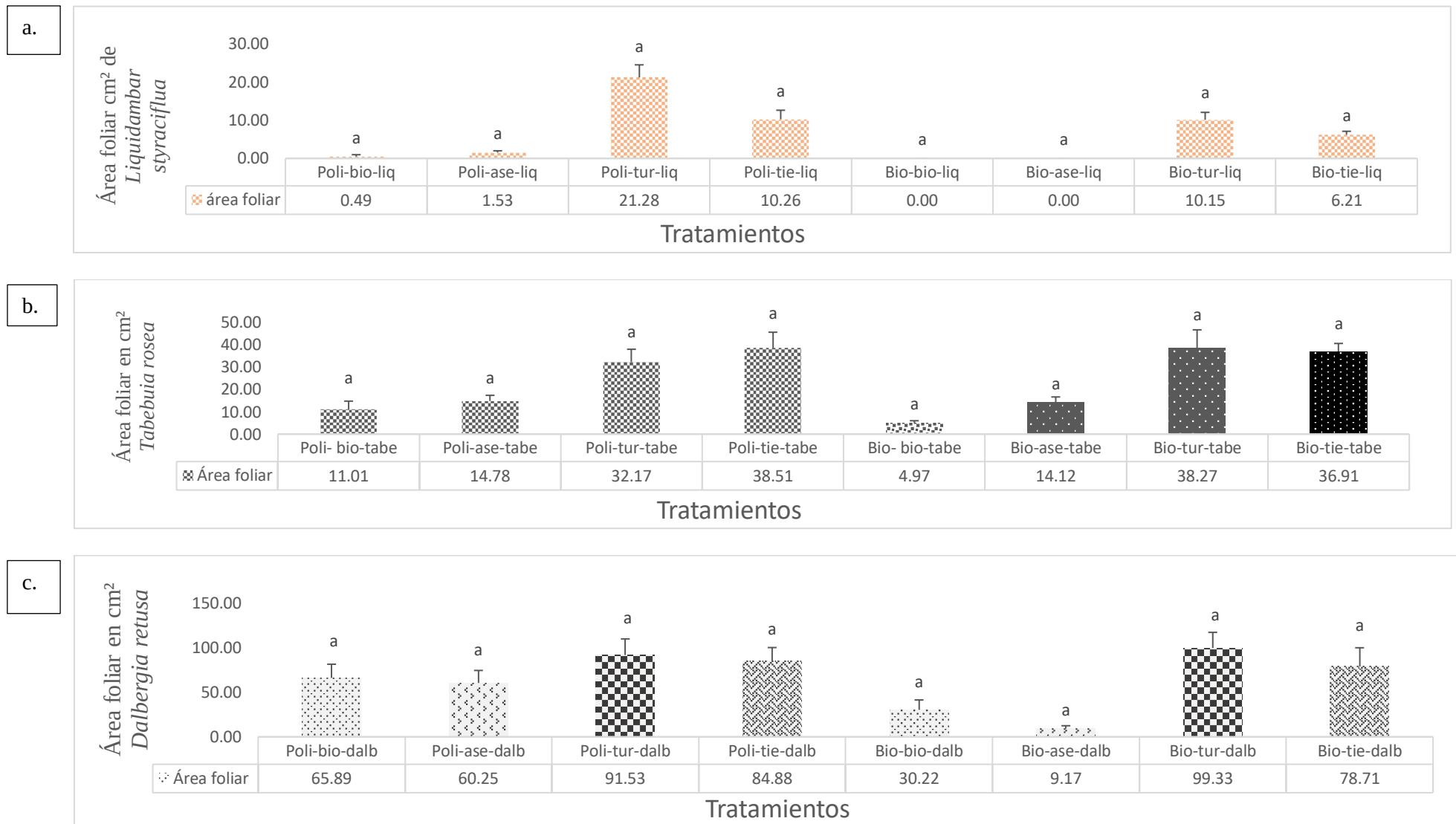
La especie de *Tabebuia rosea* mostro cambios significativamente en todos sus tratamientos en ambos envases en las combinaciones polietileno, tierra y biodegradable tierra son los dos tratamientos que alcanzaron un mayor diámetro en este caso el sustrato tierra es el testigo y fueron muy satisfactorios estos resultados para diámetro, y para la especie *Dalbergia retusa* los resultados fueron muy variados destacando el T9 (polietileno, turba) con la combinación de en esta especie el sustrato turba mostro mejores resultados(Figura 6).



**Figura 6.** Diámetro de tallo de *Liquidambar styraciflua* (Liquidambar), *Tabebuia rosea* (macuelizo) y *Dalbergia retusa* (granadillo rojo), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

### 5.5. Área foliar

Se realizó la prueba de Tukey al 0.05% y estadísticamente no se encuentran diferencias significativas, aunque si se observa que los porcentajes varían en la especie de *Liquidambar styraciflua* el tratamiento que obtuvo una mayor área foliar fue el T7 (polietileno, turba), en la especie de *Tabebuia rosea* el T11 (polietileno, tierra) muestran un aumento en cuanto a área foliar y en la especie *Dalbergia retusa* el T21 (biodegradable, turba) (Figura 7). En el periodo de enraizamiento es de vital importancia determinar el área foliar óptima para que las plantas puedan desarrollarse exitosamente, al ser las hojas las que sintetizan los carbohidratos, los cuales serán repartidos en los diferentes órganos de la planta (Espinoza 2016).



**Figura 7.** Área foliar de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

## 5.6. Biomasa aérea y de raíz

En la variable biomasa aérea hubo un mayor crecimiento de la raíz en la combinación de envase de polietileno, sustrato turba y la planta de *Liquidambar styraciflua* siendo este el T10 pero no significa que es el mejor tratamiento porque no hay equilibrio con la biomasa aérea mientras el T22 (biodegradable, tierra) fue el mejor tratamiento responde a un equilibrio entre las dos variables , en la planta *Tabebuia rosea* al igual obtuvo un mayor crecimiento de raíz moderadamente tiene igualdad con la biomasa y el tratamiento que respondió mejor a estas variable fue T23 (biodegradable, tierra).

En la planta de *Dalbergia retusa* según los resultados obtenidos también tiene un buen desarrollo de raíz en comparación a la biomasa la calidad de la planta no se mide por el crecimiento de raíz en porcentaje menor y un mayor crecimiento de biomasa o vice versa, ambas deben de tener un equilibrio en ambas variables el T6 (polietileno, aserrín) fue el mejor tratamiento.

Estos resultados se sugieren que algunos tratamientos favorecen el crecimiento aéreo, es necesario ajustar combinaciones de envases y sustratos que equilibren el desarrollo radicular, además un buen sistema de raíces robusto es clave para la supervivencia en el campo. el máximo valor de biomasa aérea seca lo obtuvieron las plantas del tratamiento (Figura 8).

“La relación equilibrada entre biomasa seca aérea y biomasa seca radical es un indicador clave de calidad: permite predecir el vigor y la capacidad de una plántula para establecerse con éxito en campo. Una plantula desarrollada en ambas partes tiene mejores oportunidades de supervivencia” (Sánchez *et al.*2014).



**Figura 8.** Biomasa aérea y de raíz de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).



### 5.7. Índice de veltez

Aunque si se detectaron efectos por especie, al comparar promedios aseveran que en la medida en la que las relaciones altura/diámetro, sean menores, en el caso de las especies tropicales, estas presentaran mayor vigor de la planta sean menores, en el caso de las especies tropicales (Orozco 2010). En *Liquidambar styraciflua* los mayores índices de veltez se reconoce que los envases de polietileno con turba y tierra fue de 6.58 y 5.09 a diferencia que los biodegradables tuvieron muy bajos resultados 0 y 2.0, evidenciando los cambios significativos con el tipo de envase.

En *Tabebuia rosea* los valores fueron similares 3.70 y 4.88, indicando los resultados en las diferentes combinaciones. A diferencia de *Dalbergia retusa* el cual tiene un efecto significativo en envases biodegradables con tierra o turba 7.10 y 6.38 siendo superior a los envases de polietileno resaltando las diferencias en respuesta a los tratamientos. Donde se comprueba que la interacción especie, sustrato y envase determina el crecimiento en vivero y que no existe un manejo igual para todos los tratamientos se debe ajustar según la especie (Figura 9).



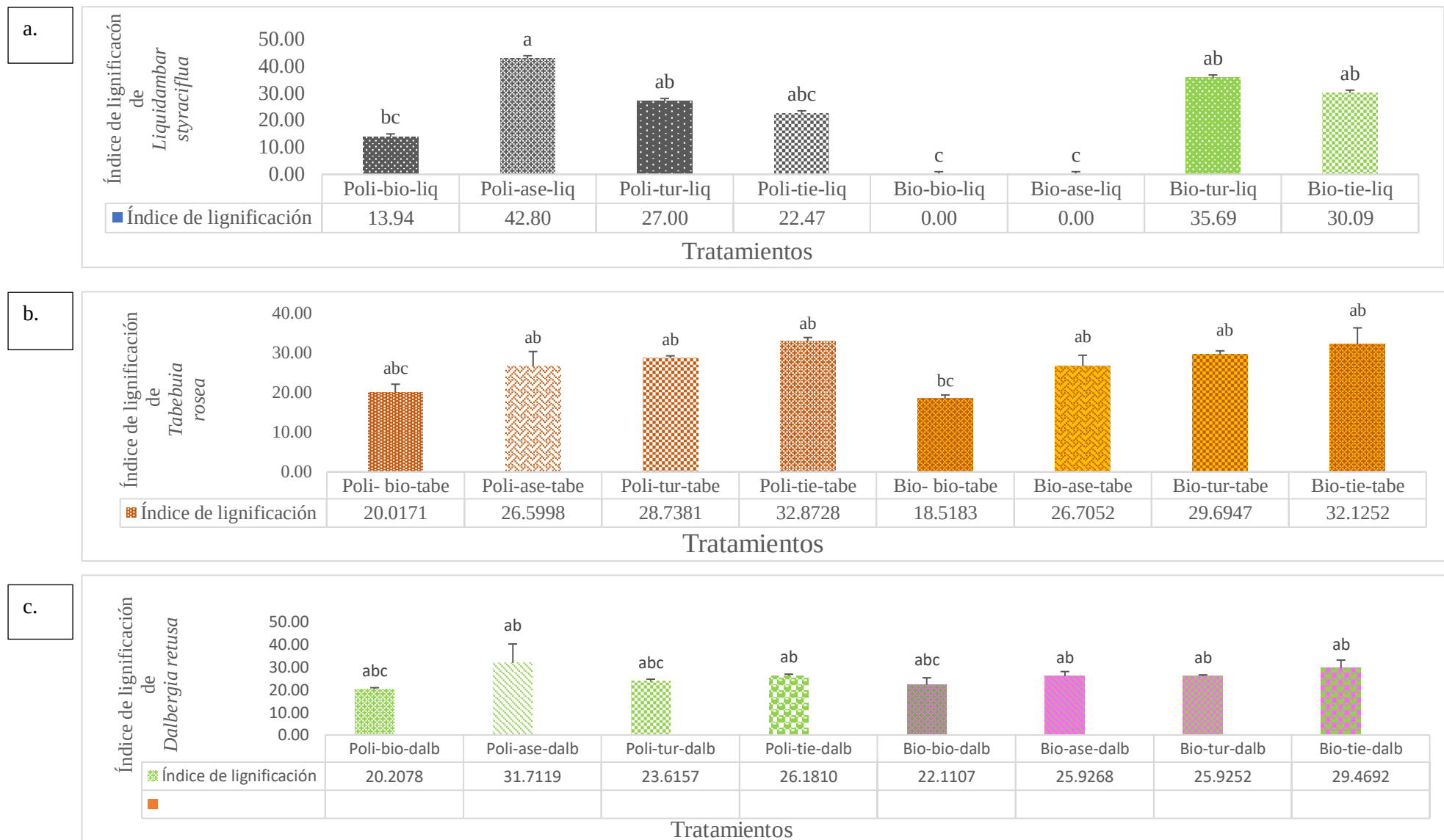
**Figura 9.** Índice de veltez de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

## 5.8. Índice de lignificación

Según los datos obtenidos en los gráficos reflejados que en *Liquidambar styraciflua* los valores más altos se dieron en el T4 (polietileno, aserrín) con un 42.80% y el T1 fue el que menos lignina presento siendo este el que menor porcentaje contiene un 13.94%, indicando que en esa especie los plásticos favorecen un tallo más endurecido.

En *T. rosea* se registró un contenido de lignina de 20.74%, Estas concentraciones resultan ventajosas para las plantas, ya que significa que contaban con tallos menos suculentos y más duros. Mientras el número de tallos suculentos sea reducido, los individuos tienen mayores posibilidades de adaptarse al sitio de plantación y son menos susceptibles a la deshidratación y al ataque de plagas y enfermedades (Orozco 2010).

Por lo tanto, los resultados para *Tabebuia rosea* en el estudio de envases y sustratos los valores fueron estables entre 20.20 y 32.87 %, al comparar los datos de Orozco los resultados de este estudio superan los valores. En la especie *Dalbergia retusa*, los índices estuvieron en un rango medio 20 y 31.71 %, sin respuestas tan marcadas como en Liquidámbar, demostrando que cada especie reacciona según el tipo de envase y sustrato usado (Figura 10).



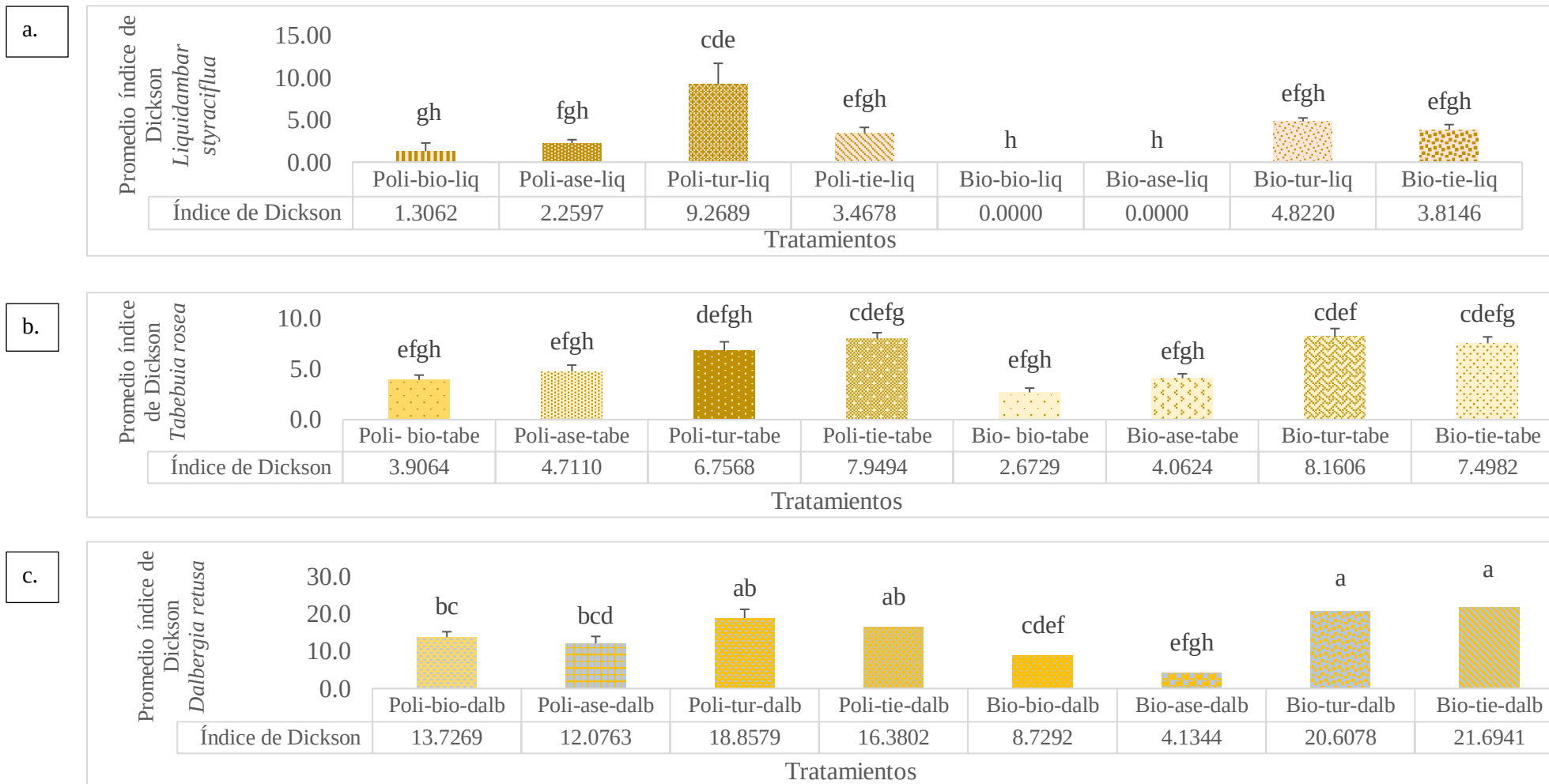
**Figura 10.** Índice de lignificación de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

### 5.9. Índice de Dickson

El análisis del índice de Dickson muestra los resultados en base a la calidad de plántulas que son aquellas que poseen propiedades morfológicas y fisiológicas que le permiten establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente (Morales 2018). En el estudio de envases y sustratos, y estos valores óptimos varían según las especies utilizadas.

En la especie *Liquidambar styraciflua* el T7 (polietileno, turba), se usó la combinación fue el mejor resultado con un porcentaje de 9.26 en base a los valores óptimos de calidad y hubo diferencias significativas en comparación con los demás tratamientos, sin embargo, para la especie de *Tabebuia rosea* los valores óptimos más altos se dieron el T20 (biodegradable, turba).

En la especie *Dalbergia retusa* en los T21(biodegradable, turba) y T24 (biodegradable, tierra), obtuvieron los valores óptimos de calidad más altos con un 20.60 y un 21.69 y se muestra diferencias significativas, sin embargo, en los demás tratamientos los envases biodegradables combinados con sustratos con capacidad de retención de nutrientes estos promueven plántulas de alta calidad. Por lo tanto, *Tabebuia rosea* alcanza índices intermedios (Figura 11).



**Figura 11.** Índice de Dickson de *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estándar de la media y letras indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

### 5.10. Resultados de la Condición sanitaria con valoración de 1-10

A las especies les afectó el mal de talluelo en etapa de germinación antes de realizarse el repique, la especie más afectada fue la de *Liquidambar styraciflua* y la segunda fue *Dalbergia retusa*, además en la etapa final del experimento las plantas de *Dalbergia retusa* presentaron pulgones, estos se alimentan de la sabia de las plantas lo que provoca un daño a las plántulas, en las combinaciones de sustratos la planta *Liquidambar styraciflua* fue afectada con manchas café, y en *Tabebuia rosea* la competencia de luz afecto debido al color amarillento de algunos tratamientos pero en un rango muy bajo (Tabla 3).

**Tabla 3.** Matriz de condición sanitaria *Liquidambar styraciflua*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* en el estudio de envases y sustratos.

| Espece                         | Sustrato | Grado de salud | Problemas observados                                  |
|--------------------------------|----------|----------------|-------------------------------------------------------|
| <i>Liquidambar styraciflua</i> | Biochar  | 3/10           | mal de talluelo                                       |
|                                | aserrín  | 5/10           | coloración amarilla en las hojas y manchas color café |
|                                | turba    | 10             | sin problemas significativos                          |
|                                | suelo    | 10             | sin problemas significativos                          |
| <i>Tabebuia rosea</i>          | biochar  | 7/10           | competencia de luz                                    |
|                                | aserrín  | 10             | sin problema visibles                                 |
|                                | turba    | 10             | sin problema visibles                                 |
|                                | suelo    | 10             | sin problema visibles                                 |
| <i>Dalbergia retusa</i>        | biochar  | 8              | mal de talluelo                                       |
|                                | aserrín  | 8 /10          | mal de talluelo, manchas color café y pulgones        |
|                                | turba    | 10             | sin problema visibles                                 |
|                                | suelo    | 10             | sin problema visibles                                 |

### 5.11. Análisis en los costos de producción por planta

El análisis de costos de producción por planta influye como factores determinantes el tipo de sustrato y el envase, en relación con el S3, el costo de polietileno fue de L. 3.57 mientras que en envases biodegradables aumento a L. 4.57 esto refleja un incremento de L. 1.00. De la misma forma, con el S1 el costo fue de L. 2.65 en polietileno y de L. 3.65 en envases biodegradables. Seguidamente para el sustrato S2 es el sustrato que resulto más económico, siendo su costo por planta de L. 2.52 en envase de polietileno y en envase biodegradable fue de L. 3.52, manteniendo en todos los casos la diferencia de L. 1.00 lo que hace esta diferencia es el tipo de envase. (Tabla 4). El uso de envases biodegradable en este estudio implicó mayores debido a que se importaron, mientras que el S2 se posiciona como alternativa viable económicamente, seguido el S1, siendo el S3 la opción más costosa, Agrobosque reduce los costos de producción de una planta cultivada con tecnología biodegradable cuesta 14.30 lempiras (0,55 dólares), frente a los 19.93 lempiras (0,77 dólares) del método tradicional (Anon, 2025).

**Tabla 4.**Costo por producción por cada planta

| Sustrato     | Tipo de envase | Especie     | Precio por planta |
|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| (S1) Biochar | Polietileno    | Liquidambar | 2.65              |
| (S1) Biochar | Polietileno    | Tabebuia    | 2.65              |
| (S1) Biochar | Polietileno    | Dalbergia   | 2.65              |
| (S1) Biochar | Biodegradable  | Liquidambar | 3.65              |
| (S1) Biochar | Biodegradable  | Tabebuia    | 3.65              |
| (S1) Biochar | Biodegradable  | Dalbergia   | 3.65              |
| (S2) Aserrin | Polietileno    | Liquidambar | 2.52              |
| (S2) Aserrin | Polietileno    | Tabebuia    | 2.52              |
| (S2) Aserrin | Polietileno    | Dalbergia   | 2.52              |
| (S2) Aserrin | Biodegradable  | Liquidambar | 3.52              |
| (S2) Aserrin | Biodegradable  | Tabebuia    | 3.52              |
| (S2) Aserrin | Biodegradable  | Dalbergia   | 3.52              |
| (S3) Turba   | Polietileno    | Liquidambar | 3.57              |
| (S3) Turba   | Polietileno    | Tabebuia    | 3.57              |
| (S3) Turba   | Polietileno    | Dalbergia   | 3.57              |
| (S3) Turba   | Biodegradable  | Liquidambar | 4.57              |
| (S3) Turba   | Biodegradable  | Tabebuia    | 4.57              |
| (S3) Turba   | Biodegradable  | Dalbergia   | 4.57              |



## 5.12. Caracterización del suelo en función de los tipos de sustratos

### 5.12.1. Análisis de pH de los sustratos bajo estudio

El pH de los sustratos es importante como un factor determinante para la disponibilidad de nutrientes y así se determina la calidad de las plántulas en el vivero. En un rango de 5.5 y 7.0 se considera óptimo para la mayoría de las especies forestales. Los resultados muestran que el tratamiento S3 tiene un rango de pH ideal ya que favorecen el desarrollo más equilibrado entre la biomasa y el área radicular, siendo el mejor tratamiento bajo estudio. Para la especie de *liquidambar styraciflua* los valores óptimos son de 5 a 7, con valores extremos de 4.5 y 8.5(Rueda *et al.*2013). Es de resaltar que, en este rango de pH, hay una mayor disponibilidad de los nutrientes para las plantas.

Otro tratamiento que obtuvo buenos resultados fue el tratamiento S4 que tienen un rango de pH ligeramente básico En los tratamientos S1 y S2 que son Alcalinos los resultados observamos demuestras ciertas limitaciones de macro nutrientes lo cual limita el desarrollo radicular. Estos datos coinciden con los resultados obtenido en el ANOVA y gráficas, la especié *Dalbergia retusa* mostro un desbalance en los sustratos alcalinos, lo contrario con *Tabebuia rosea* y *Liquidambar styraciflua* que respondieron mejor a la mezcla de turba Materia Orgánica

**Tabla 5.** pH de los sustratos utilizados en este estudio

| N°  | pH   | Sustratos                                                    |
|-----|------|--------------------------------------------------------------|
| 587 | 6.73 | S3:<br>70% Turba, 30% Suelo                                  |
| 588 | 9.14 | S1:<br>40% Bocashi, 40% biocarbón, 20% Suelo                 |
| 589 | 8.02 | S2:<br>47% bocashi, 23 % Aserrín, 27% Biochar,<br>y 3% suelo |
| 590 | 7.87 | S4:<br>100% de suelo                                         |
| 591 | 10.4 | Biochar                                                      |
| 592 | 5.92 | Turba                                                        |
| 593 | 8.63 | Bocashi                                                      |

### 5.12.2. Análisis de materia orgánica

Los niveles más altos de materia orgánica están en tratamientos S2 con contenidos muy altos de MO, es de resaltar que el pH no es el ideal para la actividad biológica, la evaluación de los sustratos muestra que hay diferencias significativas en el contenido de materia orgánica (MO) y carbono, lo cual influye directamente en la actividad biológica y el desarrollo vegetal. Los valores mas altos de MO se registraron en el tratamiento S2 (7.95%), aunque su pH no fue ideal, lo que limita su actividad microbiana.

De acuerdo con los rangos de referencia, contenidos menores al 3% indican suelos pobres, entre 4 y 5 % se consideran normales, mientras que valores superiores reflejan mayor fertilidad. La turba alcanzo 9.36% de MO y 0.48% de nitrógeno, lo que se relaciono con un mejor color y desarrollo de la planta. Por lo contrario, S1 tiene una mayor cantidad de materia orgánica, pero mostro limitaciones por condiciones de pH. La calidad de las plántulas no solo está asociada al pH si no también al contenido de materia orgánica que contiene el sustrato, las mezclas son turba y bocashi son los que se recomienda para producir plántulas más equilibradas y vigorosas.

**Tabla 6.** pH de los sustratos utilizados en este estudio

| Materia orgánica |           |      |
|------------------|-----------|------|
| # muestra        | % carbono | % MO |
| 587              | 3.25      | 5.60 |
| 588              | 3.29      | 5.67 |
| 589              | 4.61      | 7.95 |
| 590              | 2.01      | 3.46 |
| 591              | 2.20      | 3.80 |
| 592              | 5.42      | 9.36 |
| 593              | 4.45      | 7.68 |

## VI. CONCLUSIONES

- a. Las semillas con mejor germinación fueron las de *Liquidambar styraciflua*, mientras que la *Dalbergia retusa* presentó una germinación más lenta, posiblemente relacionado a las condiciones ambientales iniciales.
- b. La *Dalbergia retusa* tuvo un mayor crecimiento en altura, y la *Tabebuia rosea* obtuvo un número mayor de hojas. En cuanto al diámetro de la planta, la *Dalbergia retusa* alcanzó el mejor desempeño. En ambos casos posiblemente relacionado a sustratos y envases.
- c. El mejor índice de calidad de plántulas se presentó en la especie *Liquidambar styraciflua*, en el envase de polietileno, con el sustrato turba. En la especie *Dalbergia retusa* fue el envase biodegradable con el sustrato turba. Mientras que en *Tabebuia rosea* fue el envase biodegradable con turba y tierra.

## VII. RECOMENDACIONES

- a. Con respecto a la germinación, se recomienda hacer el riego un día de por medio ya que el exceso de humedad influye en la salud y sanidad de las plántulas, y por consiguiente en la calidad.
- b. Para la especie de *Liquidambar styraciflua* se recomienda utilizar el envase de polietileno, mientras que para la especie de *Tabebuia rosea* y *Dalbergia retusa* el envase biodegradable.
- c. Se recomienda usar en menor cantidad los sustratos de biochar y bocashi, porque en estas combinaciones hubo más muerte en las plantas de *Liquidambar styraciflua* y *Dalbergia retusa*.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alberto Pérez Cabrera, C; Juárez Lopez, P; Anzaldo-Hernández, J; Alia Tejacal; I; Salcedo-Pérez, E; & Balois Morales, R. 2021. Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. s.l., s.e.
- Álvarez Valencia, D; A. (2014). Las especies vegetales promisorias: caso del departamento de Antioquia. Trabajo de grado presentado como requerimiento parcial para optar al título de Ingeniero Agroforestal. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Medellín, Colombia. 39 p.
- Caja Forestal Blog. 2018. Tipos de envases forestales. Disponible en: [https://cajaforestalblog.wordpress.com/2018/03/13/tipos-de-envases forestales/?utm\\_source](https://cajaforestalblog.wordpress.com/2018/03/13/tipos-de-envases-forestales/?utm_source).
- Castillo Arnedo. 2024. ¿Qué es la turba y para qué se utiliza? Disponible en: <https://www.castilloarnedo.com/blog/general/que-es-la-turba-y-para-que-se-utiliza->.
- Chuquimarca Montalván, K; B. (2024). Estimativa de parámetros genéticos en progenies de *Handroanthus chrysanthus* (Jacq.) S.O. Grose en la Hoya de Loja. Trabajo de titulación presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Forestal. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 54 p.
- Cialdella, N; Jacobson, M; Penot, E. 2023. Economics of agroforestry: links between nature and society. s.l; Springer Science and Business Media B.V; vol. 97, p. 273-277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00829-z>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2024. Los Sistemas Agroforestales (SAF) incorporan. s.l; s.e.

García Montero, R; Pizarro Medina, P; Rodríguez Rastrero, M; Sierra Herráiz, M. J; Guirado Torres, M; Millán Gómez, R. 2021. Biochar y sus aplicaciones potenciales en el suelo. *Técnica Industrial*, marzo 2021:44-53. DOI: <https://doi.org/10.23800/10503>.

García-Orozco, F; Aldrete, A; Sáenz-Romero, C. 2018. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* Engelm. Var australis en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47):115-134.

Gómez, R; Martínez, L; Torres, P. 2020. Manual de producción de plantas forestales: Técnicas y aplicaciones. Editorial Ambiente y Desarrollo.

González Kaiser, D; O. 2001. Comparación entre la bolsa y el «cono macetero» o «tubete» en la producción de plantas de café. s.l; s.e.

Gutiérrez Mora, A; Sharry, S; Casas Flores, S; Amaro Rosales, M; García Fajardo, J. A; Gutiérrez Ortega, A. (2023). *Biotechnología productiva y sostenible*. Primera edición. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. ISBN: 978-607-8734-57-3.

Landis, T. D; Tinus, R. W; & Barnett, J; P. 1999. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen 6: Propagación de plantas. *Agriculture Handbook* 674. Disponible en: [https://rngr.net/publications/ctnm/espanol/volumen-seis/portada-introduccion-contenido-prefacio/at\\_download/file](https://rngr.net/publications/ctnm/espanol/volumen-seis/portada-introduccion-contenido-prefacio/at_download/file).

Loewe, V; González, M. (1997). Monografía de Liquidámbar (*Liquidámbar styraciflua*). Silvicultura de Especies No Tradicionales: Una Mayor Diversidad Productiva. Santiago, Chile: Instituto Forestal (INFOR). 42 p.

- Marín, J. (1977). *Factores que afectan el crecimiento de las plantas*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22033>.
- Melo Lozano, HA; Afanasjeva, N. 2022. Efecto de la aplicación de biochar en la actividad microbiana en suelos: Revisión. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 21(2):193-209. DOI: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n2.2023.2197>.
- Miranda Mairena, AM; Fenley Law, J; J. (2023). Estudio de crecimiento y sobrevivencia de dos especies forestales Granadillo (*Dalbergia retusa* Hemsl) y Brasil blanco (*Caesalpinia velutina* Britt y Rose), en la unidad de experimentación y evaluación Finca El Plantel. Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Forestal con mención en Restauración de Ecosistemas Forestales. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 54 p.
- Montagnini, F; Nair, PK; R. 2004. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, s.l; s.e; p. 281-295. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029005.92691.79>.
- Nair, PK; R. 2011. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 40(3):784-790. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0076>.
- Ramos del Águila, A; R. 2024. Universidad Nacional De Ucayali Facultad De Ciencias Forestales Y Ambientales Escuela Profesional De Ingeniería Forestal. s.l; s.e.
- Reubens, B; Poesen, J; Danjon, F; Geudens, G; Muys, B. 2007. The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: A review. *Trees*, vol. 21, p. 385-402. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-007-0132-4>.

Villarreal, B; Adema, M; Cinquetti, T; Ramos, M; Velázquez, M; Galarco, S; Ramilo, D; Pincioli, L; Weber, C; Roussy, L; Cellini, M; López, V; Sceglia, P; Boeri, P; & Sharry, S. (2021). Propagación de especies forestales nativas de Argentina para restauración ambiental. VIII Congreso Forestal Latinoamericano, V Congreso Forestal Argentino. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Castro-Garibay, S.L; Aldrete; López -Upton , J; & Ordáz- Chaparro, V. M.(2018). Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* var. Australis en vivero. Agrociencia, 52(1), 115-127. Recuperado el 12 de agosto de 2025, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952018000100115&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952018000100115&script=sci_arttext)

González Orozco, M.M; Prieto-Ruiz, J.A; Aldrete, A; Hernández- Diaz, J. C; Chavez-Simental, J.A; & Rodríguez -Laguna, R.(2018).Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta *Pinus cooperi* Blanco en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 9(48), 203-225. Recuperado el 12 de agosto de 2025, de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200711322018000400203&script=sci\\_arttt](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200711322018000400203&script=sci_arttt)

Mora Santacruz, A; Valdez Hernández, J.I; Ángeles Pérez, G; Musálem Santiago, M.A; Vaquera Huerta, H.2006. Establecimiento y desarrollo de plántulas de *Tabebuia rosea*(Bignoniaceae) en una selva subcaducifolia manejada de la costa Pacífica de México. Revista de Biología Tropical 54(4):1215-1225

Morales Perez, E.2018. Indicadores de calidad de planta en viveros forestales del estado de Tamaulipas. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales. Linares, Nuevo Leon, Mexico. 123 p. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/15965/1/1080290166.pdf>

Orozco, G., Muñoz, H., y Villaseñor, F. 2010. Diagnostico de calidad de planta en los viveros forestales del estado de Colima.Revista Mexicana de ciencias



Forestales1(2: 134-145). Disponible en:  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-1132201000020001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-1132201000020001).

Villegas Espinoza, J.P. 2016. *Área foliar y periodo de enraizamiento para la propagación vegetativa de melina (Gmelina arborea Roxb)*. En vivero, La Palma de Puerto Jiménez, Golfito. Tesis de licenciatura en ingeniería en Ingeniería en Ciencias Forestales con énfasis en Manejo Forestal. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de ciencias Ambientales. Heredia, Costa Rica. 72 p. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/8208101b-08aa-474c-b70f-f0b6ecf99a3a/content>

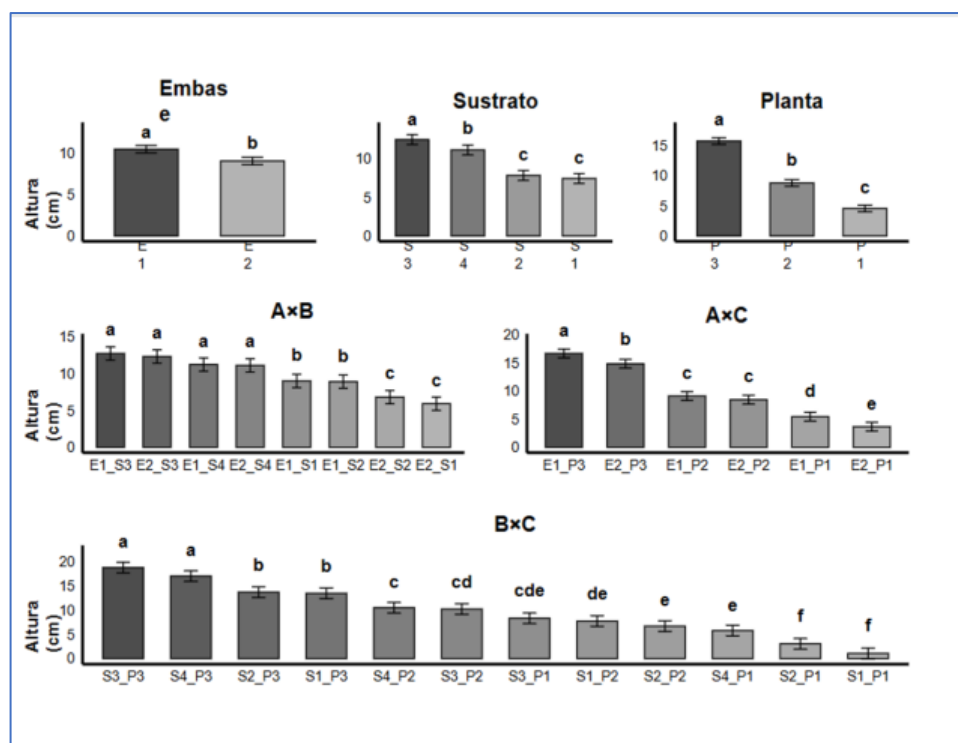
Rueda, S.A; Ramírez, O.G; Ruiz, C.J.A; Moreno, S.F; González, H.A; Martínez, B.O.U; Sáenz, R.J.T; Muñoz, F.J; Molina, C.A; & Jiménez, E.V.M. 2013. Requerimientos agroecológicos de especies forestales. Libro Técnico Núm.4. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, INFAP. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, Mexico. 226 p.

Anon. (2025). Impulsa Honduras reforestación con 30 millones de plantas desde viveros. Ahn.hn. Consultado el 5 de septiembre de 2025 en <https://ahn.hn/impulsa-honduras-reforestacion-30-millones-plantas-viveros/>

## IX. ANEXOS

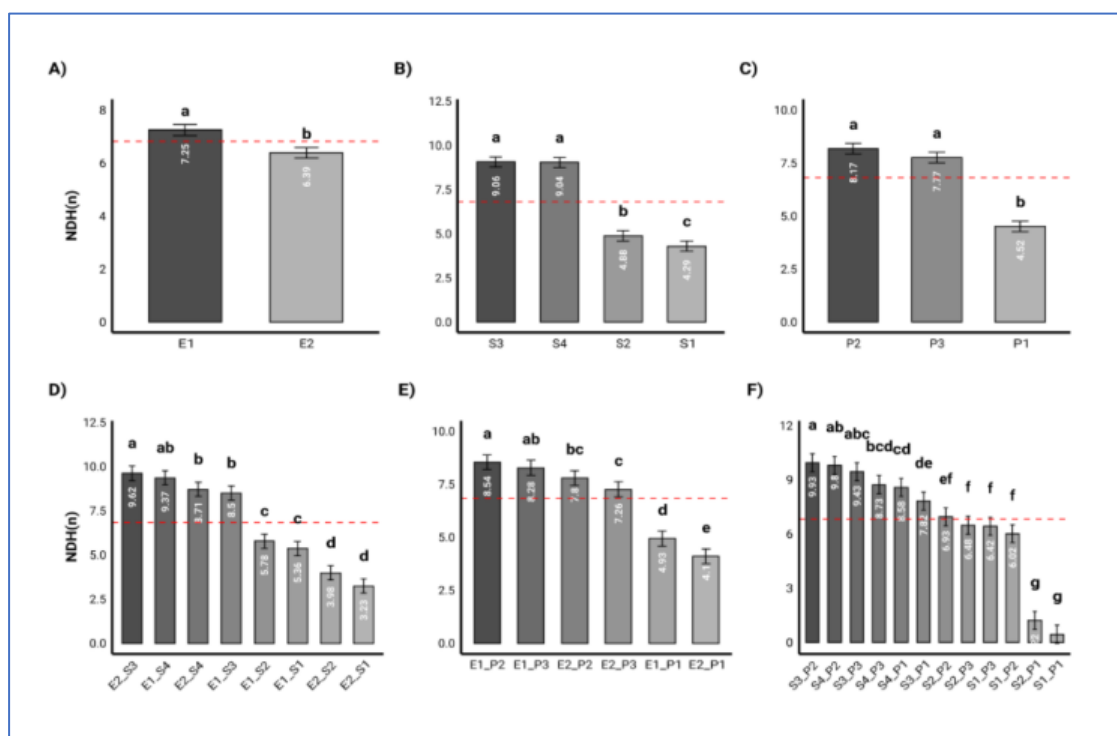
**Anexo 1.** Resultados prueba estadística variable de altura (cm)

| FV           | gl    | SC      | CM     | FC     | Pr(>F) | Sig | %SC |
|--------------|-------|---------|--------|--------|--------|-----|-----|
| Envase       | 1     | 36,49   | 36,49  | 20,25  | 0,00   | *** | 2   |
| Sustrato     | 3     | 330,69  | 110,23 | 61,16  | 0,00   | *** | 16  |
| Planta       | 2     | 1541,55 | 770,78 | 427,68 | 0,00   | *** | 74  |
| EXS          | 3     | 26,68   | 8,89   | 4,93   | 0,00   | *** | 1   |
| EXP          | 2     | 5,42    | 2,71   | 1,50   | 0,23   | ns  | 0   |
| SXP          | 6     | 37,58   | 6,26   | 3,48   | 0,01   | *** | 2   |
| EXSXP        | 6     | 25,10   | 4,18   | 2,32   | 0,05   | *   | 1   |
| Error        | 48    | 86,51   | 1,80   |        |        |     | 4   |
| Total        | 71    | 2090,01 |        |        |        |     |     |
| <b>Media</b> | 9,72  |         |        |        |        |     |     |
| <b>CV</b>    | 13,81 |         |        |        |        |     |     |
| <b>R2</b>    | 95,86 |         |        |        |        |     |     |



## Anexo 2. Resultados prueba estadística variable de número de hojas

| FV           | gl    | SC     | CM     | FC     | Pr(>F) | Sig | %SC |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| Envase       | 1     | 13,43  | 13,43  | 36,93  | 0,00   | *** | 2   |
| Sustrato     | 3     | 361,74 | 120,58 | 331,49 | 0,00   | *** | 51  |
| Planta       | 2     | 192,63 | 96,32  | 264,78 | 0,00   | *** | 27  |
| EXS          | 3     | 29,01  | 9,67   | 26,59  | 0,00   | *** | 4   |
| EXP          | 2     | 0,24   | 0,12   | 0,32   | 0,73   | ns  | 0   |
| SXP          | 6     | 82,08  | 13,68  | 37,61  | 0,00   | *** | 12  |
| EXSXP        | 6     | 13,31  | 2,22   | 6,10   | 0,00   | *** | 2   |
| Error        | 48    | 17,46  | 0,36   |        |        |     |     |
| Total        | 71    | 709,91 |        |        |        |     |     |
| <b>Media</b> | 6,82  |        |        |        |        |     |     |
| <b>CV</b>    | 8,85  |        |        |        |        |     |     |
| <b>R2</b>    | 97,54 |        |        |        |        |     |     |



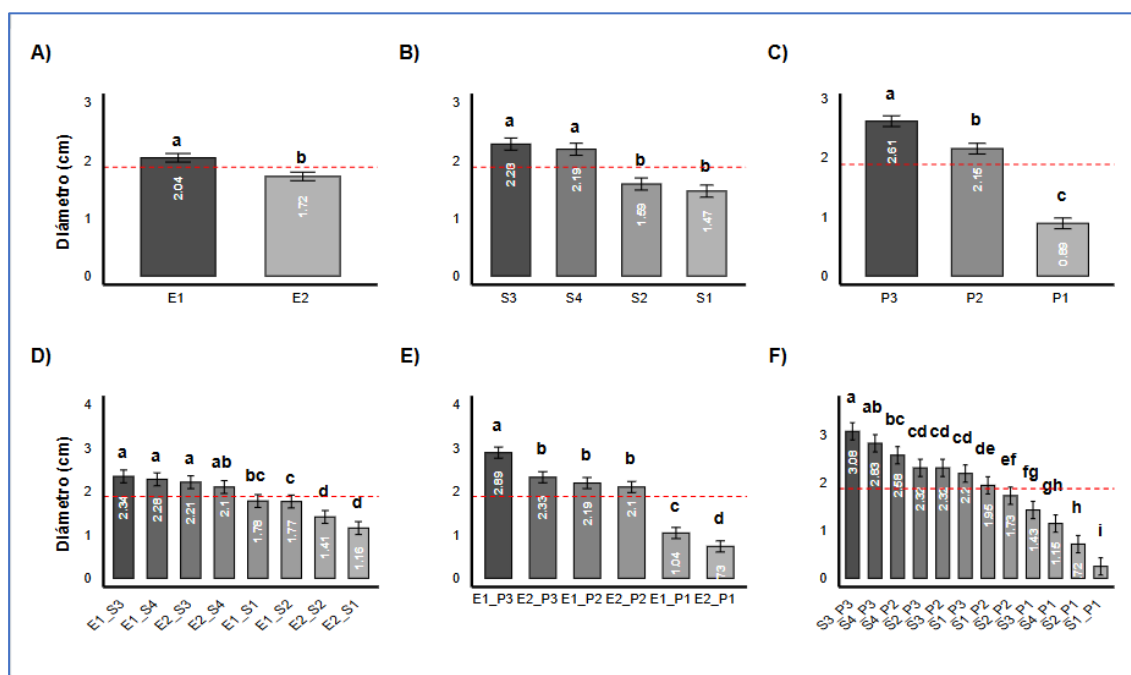
### Anexo 3. Resultados prueba estadística variable de diámetro

| FV       | gl | SC    | CM    | FC     | Pr(>F) | Sig | %SC |
|----------|----|-------|-------|--------|--------|-----|-----|
| Envase   | 1  | 1,87  | 1,87  | 38,45  | 0,00   | *** | 3   |
| Sustrato | 3  | 9,17  | 3,06  | 62,85  | 0,00   | *** | 17  |
| Planta   | 2  | 38,07 | 19,03 | 391,56 | 0,00   | *** | 70  |
| EXS      | 3  | 0,66  | 0,22  | 4,56   | 0,01   | **  | 1   |
| EXP      | 2  | 0,68  | 0,34  | 6,98   | 0,00   | *** | 1   |
| SXP      | 6  | 1,39  | 0,23  | 4,77   | 0,00   | *** | 3   |
| EXSXP    | 6  | 0,52  | 0,09  | 1,79   | 0,12   | ns  | 1   |
| Error    | 48 | 2,33  | 0,05  |        |        |     | 4   |
| Total    | 71 | 54,69 |       |        |        |     |     |

**Media** 1,88

**CV** 11,72

**R2** 95,73



**Anexo 4.** Resultados prueba estadística variable de área foliar

| FV           | gl      | SC       | CM     | FC    | Pr(>F)  | Sig |
|--------------|---------|----------|--------|-------|---------|-----|
| TRAT         | 23      | 47358    | 2059.1 | 2.879 | 0.00112 | **  |
| REP          | 2       | 272.00   | 135.9  | 0.190 | 0.82759 |     |
| Error        | 46      | 32895    | 715.1  |       |         |     |
| Total        | 71      | 80525.00 |        |       |         |     |
| <b>Media</b> | 715.110 |          |        |       |         |     |
| <b>R2</b>    | 59.1    |          |        |       |         |     |

**Anexo 5 .**Resultados prueba estadística variable de biomasa aérea

| FV           | gl   | SC    | CM     | FC     | Pr(>F) | Sig |
|--------------|------|-------|--------|--------|--------|-----|
| TRAT         | 23   | 32.65 | 1.4195 | 24.339 | <2e-16 | *** |
| REP          | 2    | 0.03  | 0.0134 | 0.229  | 0.796  |     |
| Error        | 46   | 2.68  | 0.0583 |        |        |     |
| Total        | 71   | 35.36 |        |        |        |     |
| <b>Media</b> | 0.1  |       |        |        |        |     |
| <b>R2</b>    | 92.4 |       |        |        |        |     |

**Anexo 6 .**Resultados prueba estadística variable de peso raíz

| FV           | gl   | SC    | CM      | FC    | Pr(>F)   | Sig |
|--------------|------|-------|---------|-------|----------|-----|
| TRAT         | 23   | 3.307 | 0.14376 | 9.504 | 8.12E-11 | *** |
| REP          | 2    | 0.009 | 0.00432 | 0.285 | 0.753    |     |
| Error        | 46   | 0.696 | 0.01513 |       |          |     |
| Total        | 71   | 4     |         |       |          |     |
| <b>Media</b> | 0.1  |       |         |       |          |     |
| <b>R2</b>    | 82.7 |       |         |       |          |     |

**Anexo 7.** Resultados prueba estadística variable de veltez

| FV           | gl        | SC      | CM     | FC    | Pr(>F)   | Sig |
|--------------|-----------|---------|--------|-------|----------|-----|
| REP          | 23.00     | 6480.00 | 281.73 | 5.015 | 1.70>E06 | *** |
| TRAT         | 2.00      | 5.00    | 2.65   | 0.047 | 0.954    |     |
| Error        | 46.00     | 2584.00 | 56.17  |       |          |     |
| Total        | 71.00     | 9069.00 |        |       |          |     |
| <b>Media</b> | 56.17268  |         |        |       |          |     |
| <b>R2</b>    | 71.507333 |         |        |       |          |     |

**Anexo 8.** Resultados prueba estadística del índice de lignificación

| FV           | gl   | SC   | CM     | FC    | Pr(>F)   | Sig |
|--------------|------|------|--------|-------|----------|-----|
| TRAT         | 23   | 6480 | 281.73 | 5.015 | 1.70E-06 | *** |
| REP          | 2    | 5    | 2.65   | 0.047 | 0.954    |     |
| Error        | 46   | 2584 | 56.17  |       |          |     |
| Total        | 71   | 9069 |        |       |          |     |
| <b>Media</b> | 56.2 |      |        |       |          |     |
| <b>R2</b>    | 71.5 |      |        |       |          |     |

**Anexo 9.** Resultados prueba estadística del índice de Dickson

| FV           | gl      | SC      | CM    | FC    | Pr(>F) | Sig |
|--------------|---------|---------|-------|-------|--------|-----|
| REP          | 2.00    | 1.10    | 0.53  | 0.11  | 0.893  |     |
| TRAT         | 23.00   | 2782.90 | 120.9 | 25.91 | <2e-16 | *** |
| Error        | 46.00   | 214.80  | 4.67  |       |        |     |
| Total        | 71.00   | 2998.80 |       |       |        |     |
| <b>Media</b> | 4.6692  |         |       |       |        |     |
| <b>R2</b>    | 92.8371 |         |       |       |        |     |

**Anexo 10.** Preparación y germinación de las especies *Liquidambar styraciflua* (liquidámbar), *Tabebuia rosea* (Macuelizo) y *Dalbergia retusa* (Granadillo rojo).



Anexo 11 Semillas utilizadas en el experimento





## Anexo 12 Repique y llenado de bolsa



## Anexo 13 Preparación de los sustratos y elaboración





#### Anexo 14. Elaboración de biochar y bocashi



## Anexo 15 Crecimiento y desarrollo



## Anexo 16 Condición sanitaria de las plántulas

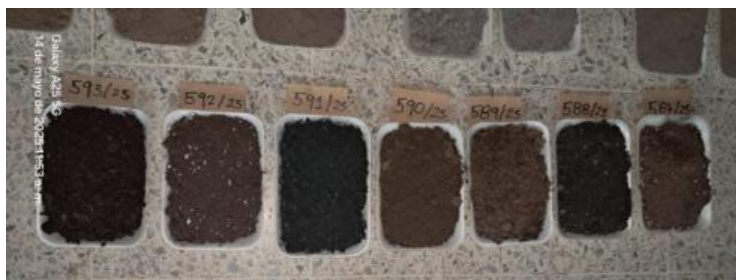




**Anexo 17.** Toma de datos de las variables, diámetro, altura, área foliar, peso seco, peso húmedo y numero de hojas



## Anexo 18 Tamizado de sustratos



## Anexo 19. Análisis realizados en el laboratorio pH y materia orgánica

