

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

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

POR:

PAOLA ELIZABETH MEJÍA MEJÍA

PROYECTO DE TESIS



CATACAMAS

AGOSTO, 2025

OLANCHO

Crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de cuatro especies arbóreas tradicionales,
considerando tipos de envases y de sustratos, en etapa de vivero

POR:

Paola Elizabeth Mejía Mejía

Oscar Iván Ferreira Catrileo M. Sc.
Director de Tesis

TESIS

PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN GESTIÓN
INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES

CATACAMAS

AGOSTO, 2025

OLANCHO

ACTA DE SUSTENTACIÓN

DEDICATORIA

A Dios, fuente infinita de sabiduría, agradezco su amor y su guía constante que me sostuvieron en cada paso de este largo camino. Que este logro sea testimonio de su gloria y bendición en mi vida. Amén.

A mis padres **Alfredo Mejia** y **Flora Mejia**, por su amor incondicional, su apoyo y paciencia y por creer en mí y enseñarme que los sueños si se pueden lograr con esfuerzo y dedicación. Este logro es tan mío como suyo.

A mis hermanos **Débora Mejia** y **Wilfredo Mejia**, que han sido parte fundamental de este proceso su presencia constante de apoyo y comprensión. Gracias por confiar en mí, por no dejarme nunca sola y por su paciencia en cada etapa de este proceso.

A mis **hermanas** que fueron una base fundamental a lo largo de este camino.

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

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a **Dios todo poderoso**, por ser mi fortaleza y pilar fundamental en este camino, su guía y sabiduría han sido esenciales para culminar este proyecto.

A mis padres **Alfredo Mejia** y **Flora Mejia**, por ser mi fuente de inspiración constante, por su invaluable guía, paciencia y apoyo constante al largo de este proceso.

A, **Marvin Padilla**, por ser parte de este recorrido y no dejarme sola. Su cariño y amor incondicional y su apoyo constante ha sido fundamentales para avanzar los desafíos de este largo proceso.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director principal, **M.Sc. Oscar Ferreira**, por su valiosa orientación, apoyo constante y sabios consejos a lo largo de todo este proceso. Su dedicación, paciencia y confianza en mi trabajo. Gracias por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia.

A **Flor Requeno**, por ser las personas que me acompañaron durante toda esta trayectoria.

a todas las personas que me han acompañado en la realización de mi Tesis gracias.

CONTENIDO

ACTA DE SUSTENCTACIÓN	1
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	1
I.INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1. Importancia de la calidad de las plantaciones maderables	3
4.2 Sistemas agroforestales.....	3
4.3 Descripción de las especies seleccionadas	3
a. <i>Swietenia humilis</i> (caoba)	3
b. <i>Cedrela odorata</i> (cedro).....	4
c. <i>Cordia alliodora</i> (laurel).....	4
d. <i>Swietenia macrophylla</i> (caoba del atlántico).....	4
4.3.2 Descripción de procedencia de las semillas	5
a. <i>Swietenia humillis</i> (caoba).....	5
b. <i>Cedrela odorata</i> (cedro).....	5
c. <i>Swietenia macrophylla</i> (caoba del atlántico).....	5
4.3.3 Factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas.....	6
a. Temperatura:.....	6
a. Luz:	6
4.4. 1. Ventajas del uso de envases biodegradables	7
4.4.2 Desventajas del uso de envases biodegradables	7
4.3 Envases de polietileno.....	8
4.4 Tipos de sustratos.....	8
a) Biochar:	8
b) Turba:	8
c) Tierra:	8
4.4 Contenido nutricional de los sustratos.....	9
a. pH:.....	9
b. Materia orgánica:	9
IV. MATERIALES Y MÉTODO.....	10
5.1 Ubicación del área de trabajo	10
5.2 Materiales y equipo	12
a. Planificación de los materiales a utilizar	13
b. Etapa de la germinación	13
c. Etapa de repique y medición	14
a. Etapa de análisis e interpretación de datos.....	14
5.3 Enfoque metodológico	14

5.3.1	Diseño experimental	15
5.3.2	Modelo estadístico del arreglo factorial.....	15
5.4	Factores.....	16
5.5	Descripción de los sustratos	17
5.6	Variables a evaluar.....	18
a.	Porcentaje de germinación:	18
a.	Diámetro del tallo:	18
b.	Altura de la planta (cm):.....	18
c.	Número de hojas y área foliar:.....	19
d.	Lignificación:.....	19
f.	Costos económicos:.....	20
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1.	Porcentaje de germinación	21
5.2	Diámetro del tallo:	24
5.3	Altura.....	26
5.4	Numero de hojas	28
5.5	Área foliar	31
5.6	lignificación	34
5.7	biomassa aérea y de la raíz.....	37
5.8	Veltez.....	40
5.9	Índice de Dickson	42
5.10	Análisis de pH.....	44
5.11	Costos	44
VI.	CONCLUSIONES.....	45
VII.	RECOMENDACIONES	46
VII.	BIBLIOGRAFÍAS	49
ANEXOS		57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de sustratos utilizados en el estudio de sustratos y envases.	17
Tabla 2: pH analizado en el estudio de envases y sustratos.	44
Tabla 3: Precio por especie y tipo de envase y sustrato utilizados en el estudio de envases y sustratos	45

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Ubicación del vivero forestal Sauces ubicado en Catacamas, Olancho, Honduras..... 10
- Figura 2:** Germinación de las cuatro especies maderables en arena, *Swietenia humilis* (caoba del pacifico), *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro), y *Cordia alliodora* (laurel) en el estudio de sustratos y envases. 23
- Figura 3:** Diámetro en mm de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel) en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 25
- Figura 4:** Altura en cm de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 27
- Figura 5:** Numero de hojas de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 30
- Figura 6:** Área foliar de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 33

Figura 7: Índice de lignificación de las especies a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 36

Figura 8: Biomasa aérea y la raíz, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 39

Figura 9: Veltez de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 41

Figura 10: Índice de Dickson de a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel). en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies. 43

TABLA DE ANEXOS

Anexo 1: Prueba estadística para la variable de diámetro, utilizado en el estudio de envases y sustratos.....	57
Anexo 2: Prueba estadística para la variable de altura, utilizado en el estudio de envases y sustratos.	58
Anexo 3: Prueba estadística para la variable de numero de hojas utilizado en el estudio de envases y sustratos.	59
Anexo 4: Prueba estadística para la variable de área foliar, utilizado en el estudio de envases y sustratos.....	60
Anexo 5: Prueba estadística para la variable de índice de lignificación, utilizado en el estudio de envases y sustratos.	61
Anexo 6: Prueba estadística para la variable de Biomasa aérea, utilizado en el estudio de envases y sustratos.....	62
Anexo 7: Prueba estadística para el índice de calidad, utilizado en el estudio de envases y sustratos.	63
Anexo 8: Prueba estadística para la variable de raíz, utilizado en el estudio de envases y sustratos.	64
Anexo 9: Prueba estadística para el índice de veltez, utilizado en el estudio de envases y sustratos.	65
Anexo 10: Germinación de las especies <i>Swietenia humilis</i> (caoba del pacifico) <i>Swietenia macrophylla</i> (caoba del atlántico), <i>Cedrela odorata</i> (cedro) y <i>Cordia alliodora</i> (laurel) utilizado en el estudio de envases y sustratos.....	66
Anexo 11: Desinfección, siembra y llenado de bolsas de las especies <i>Swietenia humilis</i> (caoba del pacifico) <i>Swietenia macrophylla</i> (caoba del atlántico), <i>Cedrela odorata</i> (cedro) y <i>Cordia alliodora</i> (laurel), utilizadas en el estudio de envases y sustratos.	67

Anexo 12:Preparación de los sustratos, utilizados en el estudio de envases y sustratos.68

Anexo 13:Toma de la variable biomasa área y radicular de las cuatro especies en el laboratorio, utilizadas en el estudio de envases y sustratos. 69

Mejia Mejia, PE. 2025. Crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de cuatro especies arbóreas tradicionales, considerando tipos de envases y de sustratos, en etapa de vivero. Tesis. Ingeniería en Gestión Integral de los Recursos Naturales. Catacamas, Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura 79 p.

RESUMEN

Este estudio evalúa el crecimiento, desarrollo y la calidad de las plántulas de cuatro especies arbóreas tradicionales, *Swietenia humilis*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Cordia alliodora*, en etapa de vivero el estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG), ubicada en Catacamas, Olancho, Honduras. Se implementó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial utilizando dos tipos de envases: Polietileno de 5* 6 cm y envases biodegradables de 16*18 cm, también se utilizaron cuatro tipos de sustratos: biochar, aserrín, turba y suelo, y cuatro tipos de especies: *Swietenia humilis*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Cordia alliodora*. Se evaluó porcentaje de germinación, donde *Swietenia macrophylla* mostro un 90%. Las especies con un mayor desarrollo de altura, *Swietenia humilis* y *Cedrela odorata* alcanzando 20 cm, en los tratamientos, turba con el envase polietileno. La especie con un mayor desarrollo de diámetro fue, *Swietenia humilis* con 0.27 mm en el envase polietileno con el sustrato biochar. Las variables número de hojas y área foliar no se encontraron diferencias significativas estadísticamente, en cuanto a la variable calidad de la planta, la especie con un desarrollo y crecimiento mas eficiente fue *Swietenia humilis*, en el tratamiento aserrín con envase biodegradable, los resultados que se obtuvieron son que tanto el sustrato y los envases influyen significativamente en el desarrollo de las plántulas, en las distintas especies los envases de polietileno favorecen mas al crecimiento y desarrollo del diámetro, altura, y biomasa aérea, mientras que el envase biodegradable en el índice de calidad, se evaluaron los costos económicos con el fin de determinar las opciones viables para viveros y sean sostenibles. Se recomienda el uso de envases de polietileno si quiere lograr un crecimiento rápido de las plantas, en cuanto al crecimiento radicular de las plántulas se recomienda el uso de envases biodegradables.

Palabras claves: biochar, biodegradable, costos económicos, opciones viables, producción de plántulas, polietileno y turba.

I.INTRODUCCIÓN

El éxito en la reforestación, la restauración ecológica y la producción agroforestal sostenible, depende del adecuado crecimiento de las plantas en las primeras etapas del desarrollo vegetal, las condiciones ofrecidas en los viveros desempeñan un papel crucial para garantizar el establecimiento de plantas vigorosas y con características adecuadas para su trasplante. Los envases y sustratos utilizados tienen un impacto significativo tanto en el desarrollo inicial como en la capacidad de adaptación de las plántulas al ambiente.

Actualmente, se usan distintos tipos de envases, uno de ellos son los de polietileno que son ampliamente empleados debido a su bajo costo, ligereza y disponibilidad. No obstante, también se han propuesto alternativas como macetas biodegradables, que buscan mitigar el impacto ambiental asociado con el uso de plásticos. Los sustratos representan el medio que se desarrollan las raíces, y su composición es clave para proporcionar los nutrientes necesarios para la retención de agua y la aireación para el crecimiento saludable de las plántulas.

En este estudio, se evaluó el crecimiento y la calidad de plántulas de cuatro especies tradicionales, considerando distintos tipos de envases y sustratos. El objetivo principal de este estudio fue identificar combinaciones óptimas de envases y sustratos que promuevan el desarrollo de plántulas de alta calidad, contribuyendo así al mejoramiento de las prácticas en viveros y fortalecimiento de iniciativas de reforestación y restauración en el país. Resaltando la importancia de adoptar tecnologías y prácticas sostenibles en la producción de plántulas, alineadas con los objetivos globales de conservación de la biodiversidad y mitigación del cambio climático.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la germinación, crecimiento y desarrollo de especies arbóreas tradicionales, utilizando sustratos y envases en etapa de vivero.

2.2 Objetivos específicos

- a. Evaluar el porcentaje de germinación de *Swietenia humilis*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Cordia alliodora*.
- b. Cuantificar el crecimiento de las plántulas de *Swietenia humilis*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata* y *Cordia alliodora*, considerando los tipos de envases y de sustratos.
- c. Evaluar la calidad de las plántulas tradicionales de *Swietenia humilis*, *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, considerando los tipos de envases y de sustratos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia de la calidad de las plantaciones maderables

“La calidad de las plantaciones influye directamente en la producción de madera de alta calidad, lo que incrementa el valor comercial del producto final. Árboles bien manejados adecuadamente generan mayores volúmenes de madera, reducen costos de mantenimiento, mejoran la rentabilidad” (FAO 2006).

4.2 Sistemas agroforestales

“Los sistemas agroforestales son nuevas alternativas productivas frente a los sistemas convencionales de producción agropecuaria actuales que se están convirtiendo en sistemas insostenibles al grado de poner en riesgo las bases de producción” (Farrel 1996).

4.3 Descripción de las especies seleccionadas

a. *Swietenia humilis* (caoba)

“Es una especie nativa de Mesoamérica, distribuyéndose desde México hasta Centroamérica. Crece principalmente en regiones tropicales y subtropicales, con presencia significativa en zonas secas y bosques deciduos de Honduras, especialmente en la vertiente del Pacífico” (Sarukhán 2005).

“*Swietenia humilis* se adapta bien a suelos pobres y condiciones secas, pero requiere buen drenaje. Es una especie clave en la restauración de ecosistemas degradados y se asocia a menudo con otros árboles tropicales” (Sarukhán 2005).

b. *Cedrela odorata* (cedro)

“Es un árbol de importancia económica. Esta madera liviana, duradera y fácil de trabajar se utiliza en la fabricación de muebles, carpintería y construcción. El cedro emite un aroma agradable, lo que lo hace deseable en la producción de gabinetes” (Sánchez *et al.* 2024).

“También se cultiva por razones ornamentales y partes del árbol se utilizan en la extracción de aceites esenciales con aplicaciones en perfumería y cosmética. La gestión sostenible es clave para preservar este recurso valioso a largo plazo” (Sánchez *et al.* 2024).

c. *Cordia alliodora* (laurel)

“El laurel es una madera valiosa debido a su textura, alto brillo y versatilidad. Se utiliza en la fabricación de muebles, puertas y pisos, además, se ha empleado en sistemas agrosilvopastoriles con cultivos como café y cacao” (Briceño *et al.* 2016).

d. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico)

“*Swietenia macrophylla*, comúnmente conocida como caoba del Atlántico, es un árbol de gran tamaño nativo de América Central y México. Se caracteriza por sus hojas grandes y su madera de alta calidad, siendo una de las especies más valiosas para la industria maderera.”

4.3.2 Descripción de procedencia de las semillas

a. *Swietenia humilis* (caoba)

“La especie se encuentra distribuida en la costa sur de México, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica. Honduras es aquí donde se encuentran las especies maderables de mayor valor en el mercado internacional entre ellas figura la *Swietenia humilis*” (Arana 2001).

b. *Cedrela odorata* (cedro)

“Distribución natural se encuentra desde el norte de México hasta Bolivia y el norte de Argentina, en las islas del Caribe. Debido a su amplia distribución en América tropical forma parte de la flora nativa de la mayoría de países latinoamericanos” (Cordero & Boshier *et al.* 2016).

“Según, el Instituto Nacional de Bosques (2017) en condiciones naturales el cedro requiere suelos profundos, fértiles, bien drenados y aireados, ricos en fósforo, potasio y calcio; de textura variada; pH 5-7; no tolera el encharcamiento ni niveles altos de zinc, hierro y aluminio”.

“El laurel se distribuye desde el Norte de México, a través de Centroamérica y algunas islas del Caribe. Su distribución ecológica se extiende desde tierras bajas, costeras, hasta tierras montañosas, bajo diferentes condiciones ecológicas desde muy húmedas hasta estacionales secas” (Mecha y Solis 2011).

c. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico)

“Es originaria de América, específicamente de México, Centroamérica y parte de Sudamérica. Su rango de distribución se extiende desde el norte de México hasta la costa Atlántica de Centroamérica, y también se encuentra en Colombia, Perú, Bolivia y el extremo occidental de Brasil.” (Arana 2001).

4.3.3 Factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas

a. Temperatura:

“El incremento de las temperaturas por encima de los niveles normales para el desarrollo de las plantas, ha provocado deformaciones en sus órganos reproductores, ya que se ha observado la presencia de pistilos dobles y hasta triples de algunas plantas” (Morales *et al.* 2006).

a. Luz:

“La luz afecta el desarrollo de las plantas ya sea como fuente de energía, calor o información. La composición espectral, intensidad, dirección y fotoperiodo son aspectos que cambian y afectan su crecimiento” (Rizzo 2020).

4.4 Envases biodegradables

“Son aquellos que están fabricados con materias primas orgánicas que proceden de fuentes renovables, al ser eliminados como residuos se degradan al entrar en contacto con el medio, convirtiéndose en biomasa y nutrientes. Es un proceso que no interviene el hombre” (SPG 2023).

4.4.1. Ventajas del uso de envases biodegradables

Según Coverpan (2019) estas son algunas ventajas de los envases biodegradables.

- a. Ayudan en la conservación del ambiente y reducen la huella de carbono al no estar realizados con materiales plásticos provenientes del petróleo.
- b. Se fabrican con materias primas renovables.
- c. No contienen materiales perjudiciales para la salud, por lo que son ideales para envases alimentario.
- d. Otorgan a la empresa imagen de marca y la representan como una empresa sostenible y *ecofriendly*. Lo cual hace que los usuarios valoren positivamente a las empresas que usan este tipo de envases.

4.4.2 Desventajas del uso de envases biodegradables

Según Coverpan (2019) algunas desventajas de los envases biodegradables son:

- a. Muy pocos plásticos biodegradables son derivados de residuos agrícolas, por lo que un aumento de fabricación a gran escala podría tener un impacto negativo en la disponibilidad de alimentos y causar un aumento de precio de los
- b. Los plásticos, aunque sean biodegradables, muchas veces no acaban en los sistemas adecuados de compostaje, por lo que son arrojados en basureros, lugares que no tienen las condiciones adecuadas para su descomposición.
- c. Los envases biodegradables pueden reciclarse mediante procesos de compostaje que conllevan un gran gasto energético. Esto implica que, si la energía de la planta no es de origen renovable, técnicamente su uso también estaría generando un impacto ambiental.

4.3 Envases de polietileno

“Son recipientes fabricados de polímeros derivados del etileno, utilizados en diversas industrias por su versatilidad, resistencia y bajo costo. En viveros, estos envases se emplean principalmente como bolsas para plántulas y recipientes para almacenamiento de sustratos” (FAO 2021, 2006 y 2015).

4.4 Tipos de sustratos

“Se considera como sustrato aquel espacio físico donde se desarrolla la raíz de la planta, se puede definir como aquel material o combinación de materiales utilizados para aireación, retención de nutrientes, agua y soporte para el crecimiento de la planta” (Quezada 2005).

a) Biochar:

“Biochar es un carbón biológico obtenido por pirólisis (tanto de residuos vegetales) en una relación subestequiométrica o en ausencia de oxígeno en hornos pirolíticos. Para obtener el mayor porcentaje de carbón biológico como producto” (Ferez *et al.* 2014).

b) Turba:

“Las turbas se forman por acumulación de gran cantidad de restos orgánicos parcialmente descompuestos a consecuencia de la presencia de un espacio saturado de agua, que origina condiciones de anaerobiosis que retardan considerablemente la descomposición de los restos vegetales” (Gonzales *et. al* 2024).

c) Tierra:

Se refiere al sustrato que se utiliza para el desarrollo de las plantas en ambientes controlados. Está compuesta por una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, seleccionados para proporcionar nutrientes, retener agua, y asegurar una buena aireación para las raíces” (Sánchez y Domínguez 2017).

d. Vermiculita:

“La vermiculita es un mineral de uso múltiple, inerte y tiene el poder de absorción suficiente para manejar ácidos, bases, refrigerantes, solventes, lubricantes y la mayoría de los fluidos peligrosos” (Ruano 2016).

4.4 Contenido nutricional de los sustratos

a. pH:

“El pH determina cuan ácido o alcalino es un suelo, esto se basa en una escala que va desde 0 hasta 14, teniendo un punto neutro en el rango, medir el pH presente en el suelo indica si es apto para nuestros cultivos o dará una idea de las decisiones que hay que tomar, si corregir el pH” (Euceda 2022).

b. Materia orgánica:

“La materia orgánica del suelo no sólo es un hábitat para los microorganismos edáficos o incluso para otros organismos más grandes del suelo, sino que también es un alimento para ellos” (Grand y Michel 2020).

IV. MATERIALES Y MÉTODO

5.1 Ubicación del área de trabajo

El estudio se llevó a cabo en el vivero forestal Sauces el cual se encuentra ubicado a nivel geográfico en municipio de Catacamas, Olancho, en el campus de la Universidad Nacional de Agricultura. El vivero forestal está a una latitud de 14.833281 y una longitud de - 85.847440, con una altitud de 357 m sobre el nivel del mar, El clima de la región se caracterizado por ser tropical de sabana la temperatura media anual es de 24.2 °C, y la precipitación anual promedio es de aproximadamente 845 mm. (Google- Earth. 2005-2025) (Figura 1).

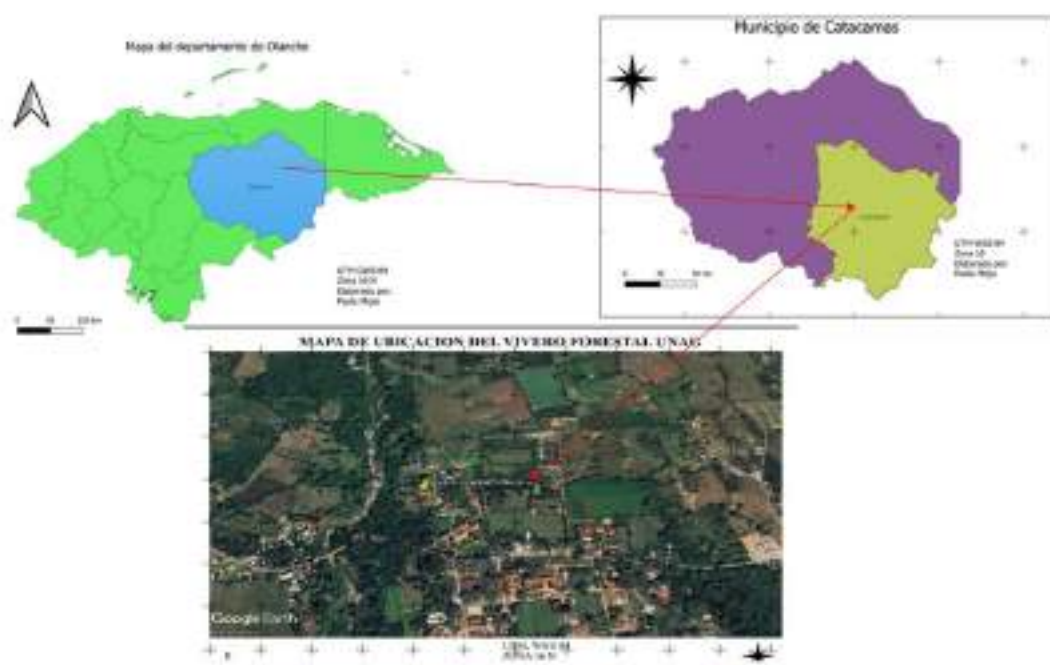


Figura 1: Ubicación del vivero forestal Sauces ubicado en Catacamas, Olancho, Honduras.

5.1.1 Descripción del vivero forestal Sauces

El vivero forestal esta administrado por el ingeniero Oscar Ferreira Catrileo docente de la Universidad Nacional de Agricultura ubicado en la misma institución UNAG en Catacamas, Olancho. Este vivero se dedica a la producción de plantas forestales y frutales con el objetivo de promover la reforestación, la conservación de los recursos naturales y el desarrollo sostenible en la región. Además, funciona como un espacio de capacitación y oportunidad de aprendizaje para toda la comunidad universitaria fomentando prácticas responsables de manejo forestal y contribuyendo a la restauración.

5.2 Materiales y equipo

En el estudio se usaron materiales como: arena, pala, envases, machetes, cinta métrica, pie de rey, regla graduada, libreta y tintas. Equipos, computadora, equipos de laboratorio de suelos, balanza, peachimetro y mano de obra.

En la primera fase del estudio se utilizó arena para la germinación de las especies arbóreas, donde se usó canastas, la desinfección se realizó para eliminar hongos y bacterias que nos puedan dañar las semillas correspondientes.

En la segunda fase se emplearon materiales de origen orgánico como; bocashi y biochar, los cuales se realizaron en el vivero forestal Sauces, los materiales se recolectaron en las diversas áreas de la Universidad Nacional de Agricultura, (bovinos, caprinos, aves y de la finca agroecológica) también se usó aserrín el cual se recolecto en el bosque de Cuyamapa ubicado en El Encino, Catacamas, Olancho.

En la tercera fase se usaron materiales y equipo como el pie de rey con el objetivo de medir el diámetro de las plantas arbóreas en etapa de vivero también se hizo uso de la regla graduada para medir la altura de las plantas, en esta fase se utilizó el laboratorio de suelos donde se utilizó el horno para secar las plantas manteniendo una temperatura de 60 °C por 24 horas, también se usó una balanza para pesar el peso seco y húmedo.

En la cuarta fase, que incluye la redacción e interpretación se emplearon: Canva® para la elaboración de la presentación, Word® para el procesamiento de texto del documento y el programa estadístico como SILVER® para determinar el ANOVA de los datos obtenidos durante la fase de campo.

Etapas del estudio

a. Planificación de los materiales a utilizar

En la primera etapa consistió en planificar y determinar la cantidad de sustratos y envases. La recolección de algunos materiales, por ejemplo; leña para la elaboración de biochar y material para la elaboración de bocashi, como vacaza, gallinaza y hojarasca.

En la fase dos de la primera etapa se llevó a cabo la caracterización del suelo en función de los tipos de sustratos, evaluando sus propiedades químicas (pH), Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Agricultura.

b. Etapa de la germinación

En la segunda etapa del estudio se utilizaron canastas de plástico como semillero, se relleno con arena, la arena paso por un proceso para eliminar contaminantes y organismos perjudiciales. Para desinfectar se vertió agua caliente asegurando que toda la arena alcanzara una temperatura uniforme una vez tratada se dejó enfriar y drenar completamente, posteriormente se sembraron las semillas, colocamos el semillero en un área con sombra parcial y protegida del viento.

En la segunda fase de la etapa dos se monitoreo el porcentaje de germinación de las semillas maderables cada dos días, para llevar a cabo esta fase se evaluó de acuerdo a las semillas que emergieron y el número total de semillas sembradas, donde se sembraron 100 semillas.

c. Etapa de repique y medición

En la tercera etapa se realizó el proceso de repique, el cual consistió en pasar las plántulas del semillero a los envases que utilizamos, luego se procedió la medición de las variables donde se eligieron cuatro plantas por cada tratamiento se monitoreo la altura y el diámetro de la planta, cada 10 días para la medición de estas variable se utilizó una regla graduada y el pie de rey.

Para poder determinar el grado de crecimiento de las plántulas tanto de masa aérea como radicular, el grado de lignificación de estas especies teniendo en cuenta los sustratos (turba, biocarbón, suelo y vermiculita) y los tipos de envases (envases de polietileno y el envase de biodegradable) se utilizó el índice de Dickson, para identificar la calidad.

La fórmula del índice de Dickson.

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

a. Etapa de análisis e interpretación de datos

Los datos obtenidos se registraron cuidadosamente y fueron tabulados utilizando aplicaciones informáticas como PowerPoint®, Excel®, Canva® y Word®. Además, se utilizaron herramientas especializadas como Spss® para realizar análisis estadístico.

5.3 Enfoque metodológico

El procedimiento metodológico en este estudio fue cuantitativo, este método permitió utilizar herramientas de análisis matemático y estadístico para poder describir, explicar y predecir fenómenos mediante datos numéricos para responder las interrogantes mediante datos obtenidos en el estudio.

5.3.1 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 dos o más factores a lo largo del estudio se evaluaron tres factores, tipos de sustratos (turba, bilocaron, tierra y turba) y los tipos de envases (envases de polietileno y los envases biodegradables) y las cuatro especies (*Swietenia humilis*, *Caoba macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*) este enfoque permitió analizar los efectos individuales de cada factor, también la interacción que hubo entre ellos lo cual permite una mayor comprensión del estudio, la fórmula del diseño factorial.

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

5.3.2 Modelo estadístico del arreglo factorial

Y_{ijk} es el valor observado de la respuesta en la combinación i, j, k ,
 μ es la media general (promedio global de la respuesta),
 α_i es el efecto del factor AAA en el nivel i ,
 β_j es el efecto del factor BBB en el nivel j ,
 γ_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,
 ϵ_{ijk} es el error asociado con la observación Y_{ijk} , que se asume que sigue una distribución normal con media cero y varianza constante.

El modelo general para un diseño trifactorial se expresa como:

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

5.4 Factores

Se muestran los tres factores que se evaluaron (envases, sustratos y especies) el diseño es completamente al azar con un arreglo factorial que se expresan dos (tipos de envases), cuatro (tipos de sustrato), cuatro (tipos de especie) siendo un total de 32 tratamientos.

Los experimentos individuales se estructurarán con los datos consecutivos 2 envases * 4 sustratos * 4 especies lo que equivale a un total de 32 unidades experimentales los cuales se establecieron un total de (8) plántulas seleccionadas en cada grupo de prueba, se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Agricultura, siendo un total de 768 plántulas.

5.5 Descripción de los sustratos

Los sustratos fueron elaborados en el vivero forestal Sauces ubicado en la Universidad Nacional de Agricultura. En esta etapa de campo se emplearán cuatro tipos de sustratos: S1: 40% Bocashi, 40% Biocarbón y 20% Suelo; S2: 46% Bocashi, 23% Aserrín, 13% Biochar, 14% Fertilizante y 3% Suelo. S3: 70% turba y 30% suelo; y S4: 100% Suelo (Tabla 1).

Tabla 1: Descripción de sustratos utilizados en el estudio de sustratos y envases.

Combinación	Descripción de las combinaciones
S1	S1: 40% Bocashi, 40% Biocarbón, 20% Suelo.
S2	S2: 46% Bocashi, 23% Aserrín, 13% Biochar, 14% Fertilizante y 3% Suelo.
S3	S3: 70% Turba y 30% Suelo.
S4	S4: 100% Suelo.

5.6 Variables a evaluar

a. Porcentaje de germinación:

Se hizo una prueba de 100 semillas para determinar el porcentaje de germinación para llevar a cabo esta fase se evaluó de acuerdo a las semillas que emergieron y el número total de semillas sembradas. Se realizó un monitoreo cada dos días y se utilizó la fórmula:

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

a. Diámetro del tallo:

Se eligieron cuatro plantas por cada tratamiento donde se midió la base del tallo de cada una de las especies seleccionadas, se usó la herramienta pie de rey, las medidas se tomaron en milímetros (mm) para tener una mayor precisión. Se tomaron datos cada 10 días durante dos meses. Esta medición de diámetro ayudó hacer una comparación entre las especies del estudio y poder monitorear el crecimiento.

b. Altura de la planta:

Para medir la altura se eligieron cuatro plantas por cada unidad de tratamientos haciendo uso de una regla graduada, se midió desde la base del tallo hasta el al ápice de la planta asegurándose que la regla estuviera perpendicular al suelo y alineada con el eje principal del tallo para obtener una medición precisa. La altura se registró en unidades (cm). Esta medición se realizó seis veces durante dos meses para evaluar el crecimiento de la planta.

c. Número de hojas y área foliar:

En este proceso de medición del número de hojas, se seleccionarán cuatro plantas por cada tratamiento se contaron cuidadosamente las hojas de cada planta, comenzando desde la base y asegurándose de incluir todas las hojas completamente desarrolladas. Los datos se registraron de manera organizada, especificando la planta y la repetición correspondiente, este procedimiento se repitió para todas las demás especies este enfoque proporciono datos precisos sobre el número de hojas por planta, contribuyendo a la evaluación.

d. Lignificación:

En la evaluación de la lignificación, se analizó el desarrollo de lignina en los tejidos leñosos de las plantas se seleccionaron cuatro plantas por cada tratamiento representativo de las plántulas experimentales. En el laboratorio, se realizaron mediciones de peso de estas muestras y se utilizó una ecuación en el cual se determinó el contenido de lignina en cada una de ellas. Este procedimiento permitió cuantificar la cantidad de lignina en las plántulas y evaluar su desarrollo.

$$\text{Lignificación} = \frac{\text{Peso seco total (g)}}{\text{Peso humedo total (g)}} * 100$$

d. Biomasa radicular:

Raíz húmeda: se midió la raíz húmeda de una plántula en estado joven de los envases que se utilizaron (biodegradables y polietileno) primero se extrajo cuidadosamente la plántula del envase, evitando dañar las raíces. se procedió a limpiar suavemente con agua para eliminar el exceso de sustrato sin deshacer el sistema radicular. Una vez que la raíz se limpió, se pesó en una balanza de precisión para obtener el peso de la raíz húmeda. Este proceso se realizó rápidamente para evitar la pérdida de agua y garantizar una medición precisa del peso.

Raíz seca: las raíces se secaron en el horno del laboratorio de suelos con una temperatura de 60 °c por 24 horas una vez secas, se pesaron utilizando la balanza de precisión para obtener el peso seco de las raíces. Esta medición permitió evaluar el desarrollo y la biomasa radicular de las plántulas.

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

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{(\text{Peso humedo parte aérea} - \text{Peso seca parte rdicular}) \times 100}{\text{Peso de raíz humeda}}$$

e. Calidad de las plántulas:

Para medir la calidad de las plantas se utilizó el índice de Dickson y se aplicó la formula.

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

f. Costos:

Para calcular los costos económicos se incluyó 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 (perlita, bocashi y agua).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Porcentaje de germinación

Según los resultados obtenidos en la prueba de germinación donde se midió durante 30 días las especies maderables, *Swietenia humilis* (caoba del pacifico), *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro), y *Cordia alliodora* (Laurel), donde se observó el porcentaje final de germinación entre las especies.

En comparación a los resultados obtenidos, la especie que muestra un mejor desempeño germinativo es la *Cordia alliodora* (laurel), comenzando a germinar el día 8 y alcanzando su pico máximo con un 80% en el día 28, finalmente, se puede concluir es la especie con una germinación mas temprana y elevada (Figura 2).

La segunda especie que muestra un buen desempeño germinativo *Cedrela odorata* (cedro), donde inicio la germinación entre los días 7 y 8 obteniendo una curva de germinación mas lenta y se estabiliza en un 33% a partir del día 22, aunque proceso de emerger es rápido al inicio, su capacidad de germinación es limitada comparada con las otras especies (Figura 2).

En cuanto a la especie *Swietenia humilis* (caoba del pacifico), comenzó el día 18, la cual muestra un ascenso sostenido en la germinación alcanzando un porcentaje de germinación final de 73% en el día 29 siendo la segunda especie con mayor germinación (Figura 2).

La especie con mayor germinación tardía fue la *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), comenzando a germinar el día 17, a pesar de esto su tasa de germinación se incrementa rápidamente a partir del día 21, finalizando con el mayor porcentaje de germinación con un 90% en el día 30 (Figura 2).

De acuerdo a los resultados concuerda con (Jiménez Saa *et al.* 1996) dice que las semillas maderables tardan entre 2 y 6 semanas en germinar. La irregularidad de los años de almacenamiento influye considerablemente en la germinación de esa especie (Howland y Bowen 1977), lo cual concuerda con los resultados obtenidos la especie *Cedrela odorata* (cedro), fue recolectada en el año 2022 mientras que la especie *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), se recolectó localmente en el mes de marzo del año 2025 y fue la que presentó un excelente porcentaje de germinación.

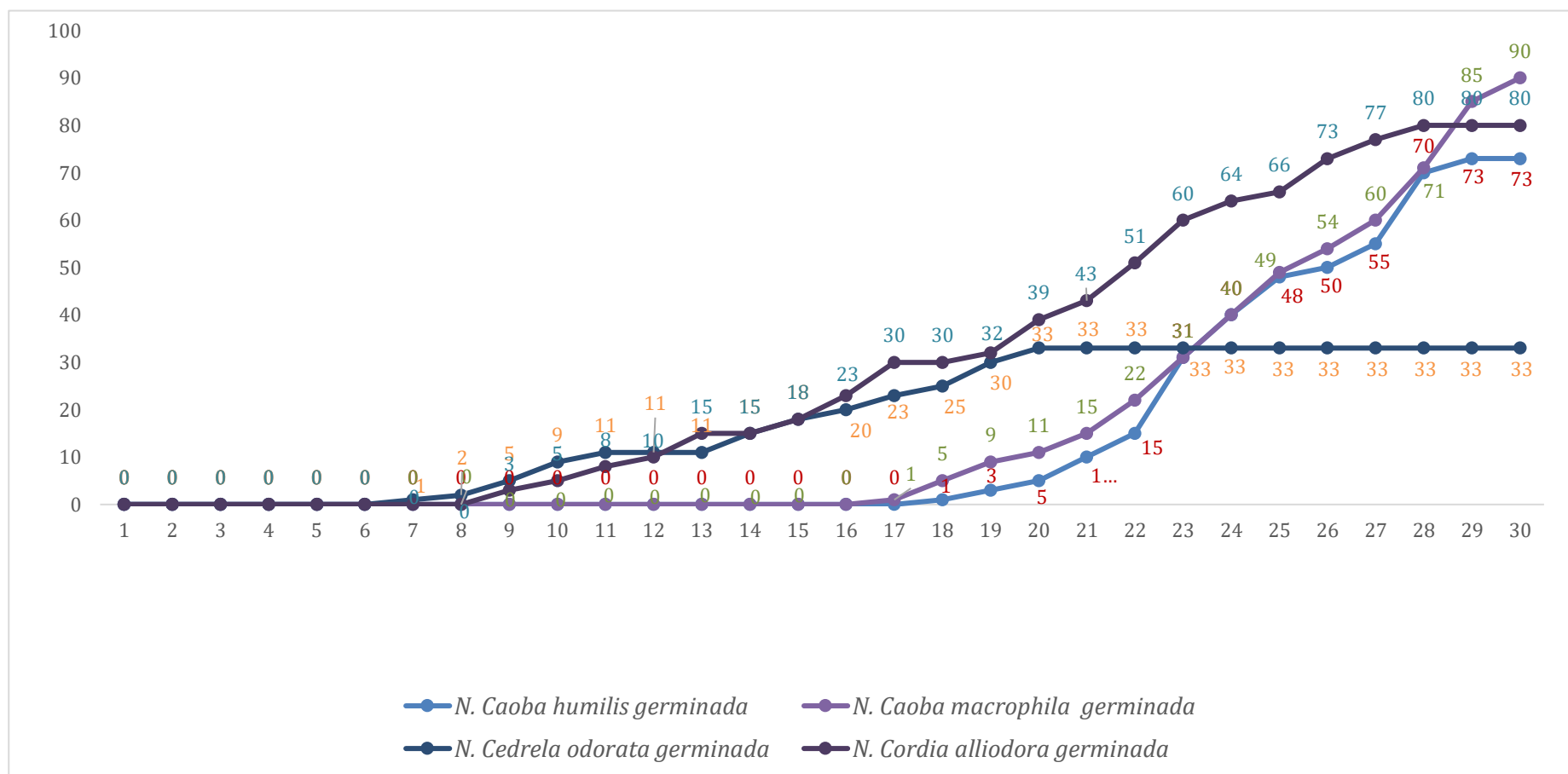


Figura 2: Germinación de las cuatro especies maderables en arena, *Swietenia humilis* (caoba del pacifico), *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro), y *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de sustratos y envases.

5.2 Diámetro del tallo:

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en cambio en el biodegradable si existen diferencias significativas resaltando biochar y aserrín, donde alcanzaron datos similares con el envase polietileno y el que menos respuesta se obtuvo fue el envase biodegradable con suelo (Figura 3).

En cuanto a los resultados obtenidos de la especie *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$). Si existen diferencias significativas en la combinación biochar y polietileno, donde su comportamiento fue diferente, en el envase biodegradable si existen diferencias significativas resaltando sustrato aserrín y turba, donde alcanzaron datos similares con el envase polietileno y el que menos respuesta se obtuvo fue el envase biodegradable con suelo (Figura 3).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro), si existen diferencias significativas en los tipos de sustratos biochar y aserrín con el envase de polietileno, en el envase biodegradable existen diferencias significativas resaltando turba y suelo, y el que menos respuesta se obtuvo fue el envase biodegradable con aserrín (Figura 3).

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel), si existen diferencias significativas en el sustrato biochar con el envase de polietileno, en el envase biodegradable existen diferencias significativas resaltando biochar, aserrín y turba, y el que menos respuesta se obtuvo fue el envase biodegradable con suelo (Figura 3).

Aguilera-Rodríguez *et al.* (2016) reportaron una producción de planta con diámetro medio superior a 5 mm en la misma especie, Sáenz-Reyes *et al.* (2014) reportaron diámetros de 3.8 mm y alturas de 27.9 cm en planta producida en el vivero forestal “Morelia”, en Michoacán. En P. oaxacana Ávila-Angulo *et al.* (2017) reportaron diámetros de 5.9 a 6.5 mm. Los valores de diámetro y altura se asemejan a los encontrados en este estudio donde se obtuvieron diámetros de 3 hasta 5 mm.

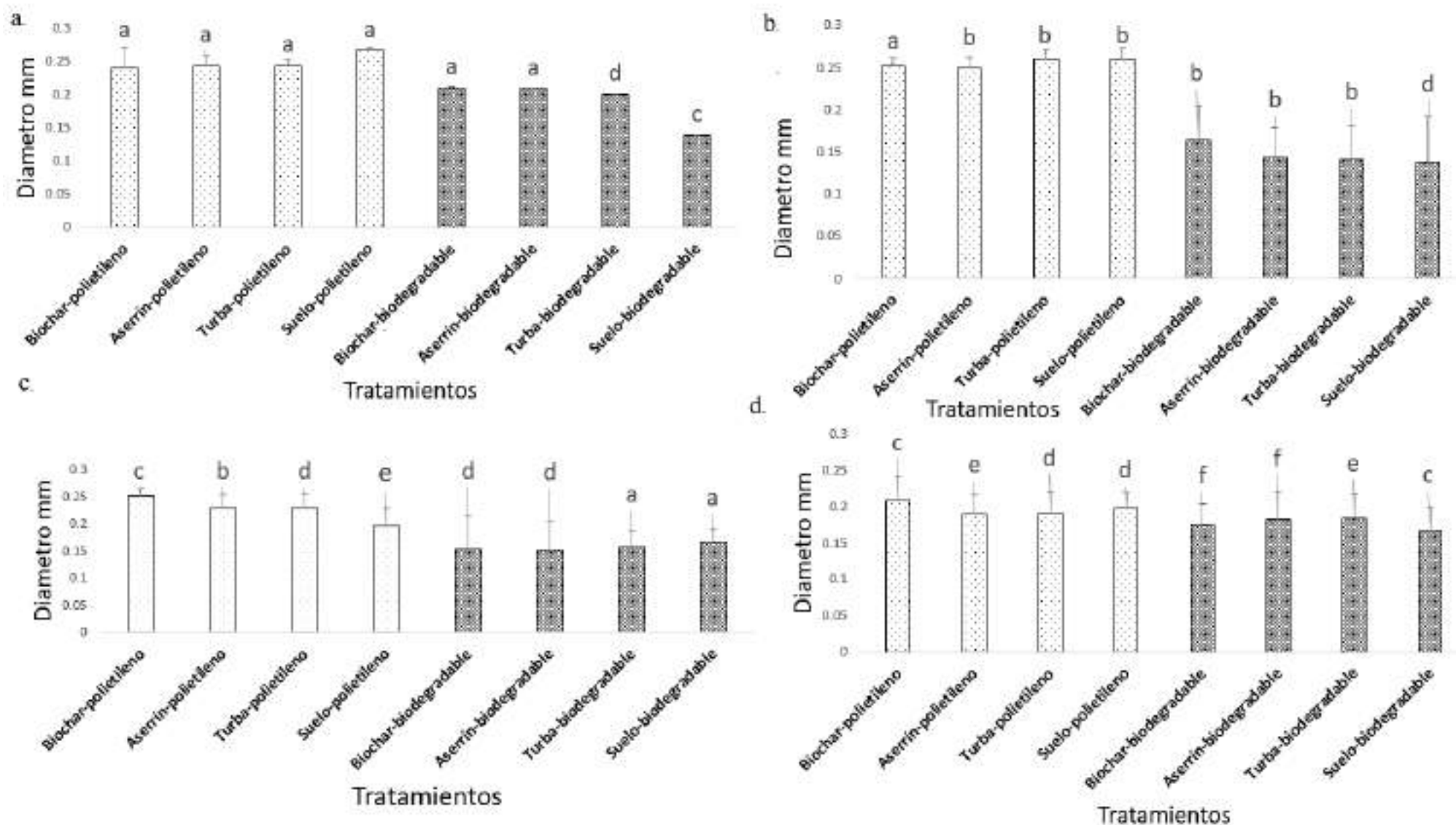


Figura 3: Diámetro en mm de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel) en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.3 Altura

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* si existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, suelo y turba con el envase de polietileno, en el envase biodegradable si existen diferencias significativas resaltando el sustrato suelo, donde alcanzaron datos similares con el envase polietileno y el que menos respuesta se obtuvo fue el envase biodegradable con turba (Figura 4).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en cambio en el biodegradable si existen diferencias significativas resaltando biochar y suelo, donde alcanzaron datos similares con el envase polietileno y el que menos respuesta se obtuvo fue el envase biodegradable con aserrín (Figura 4).

En cuanto acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro), si existen diferencias significativas con el sustrato biochar con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable también existen diferencias significativas resaltando turba y suelo, y el que menos respuesta fue el envase biodegradable con biochar (Figura 4).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel) si existen diferencias significativas con el sustrato suelo con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno (Figura 4).

En vivero, el crecimiento en altura de cedro, caoba y laurel puede variar significativamente, pero en general, se busca que alcancen alturas adecuadas desde los 10 cm hasta 30 cm (Martínez 2015). Lo cual concuerda con los datos obtenidos durante el estudio.

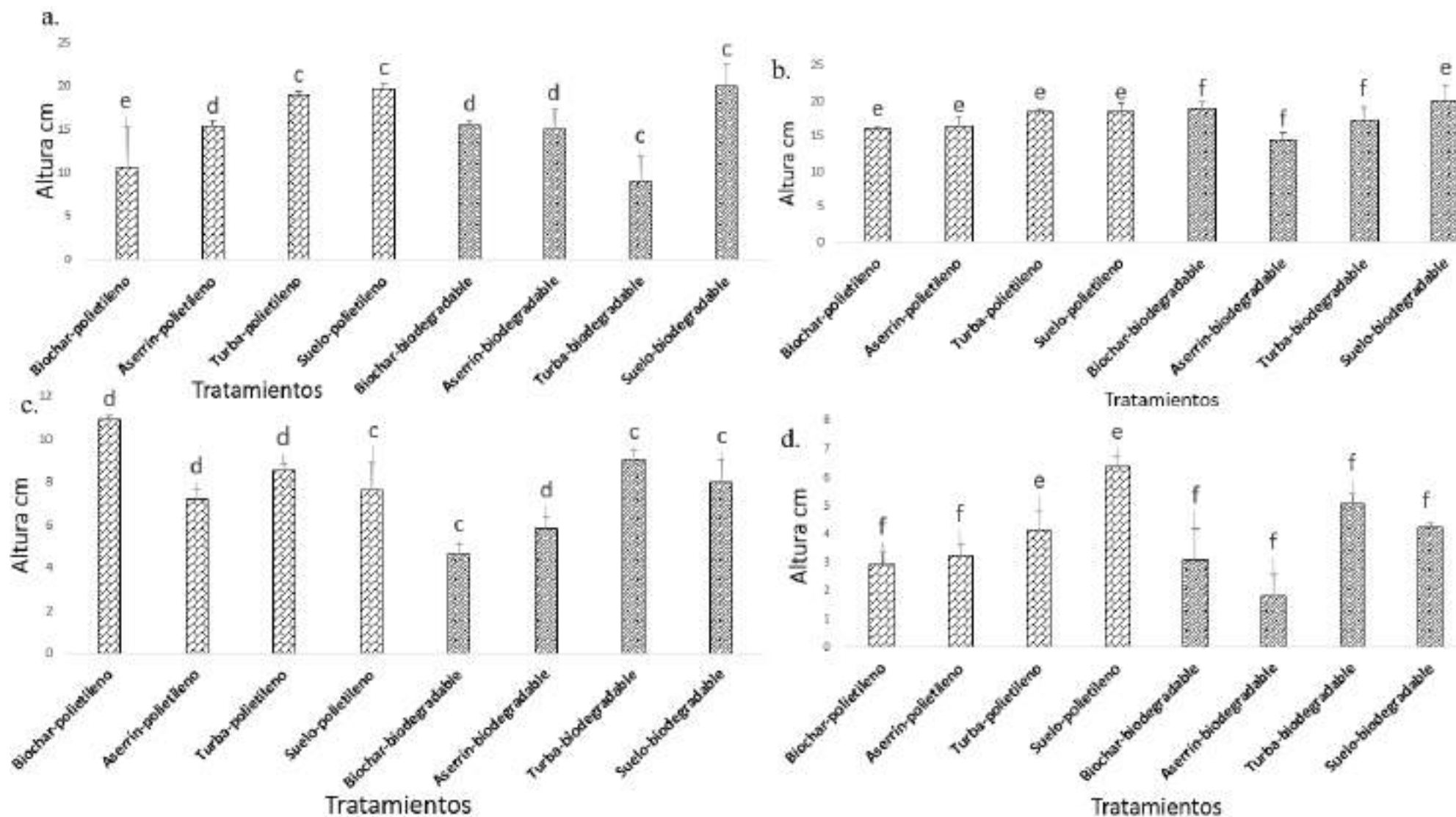


Figura 4: Altura en cm de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.4 Número de hojas

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en el envase biodegradable no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase biodegradable, donde se comportaron de manera similar (Figura 5).

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en el envase biodegradable no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase, donde determino que se comportaron de manera similar (Figura 5).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro), no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en el envase biodegradable no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase biodegradable, donde se comportaron de manera similar (Figura 5).

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel), no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en el envase biodegradable no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase, donde determino que se comportaron de manera similar (Figura 5).

Se considera que los envases de polietileno superan consistentemente a los biodegradables, el tratamiento turba-biodegradable reduce drásticamente el crecimiento, considerando que la combinación de envases impacta estadísticamente en el desarrollo de la especie (Figura 5).

Diversos factores ambientales inciden en el crecimiento inicial de plántulas, entre los cuales el tipo de sustrato juega un rol preponderante, ya que influye en múltiples procesos fisiológicos a través de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Rendón 2024). En cuanto a los resultados obtenidos con Rendón, se asemeja a los análisis que realizaron en los sustratos, donde el mejor sustrato fue turba en ambos envases y especies.

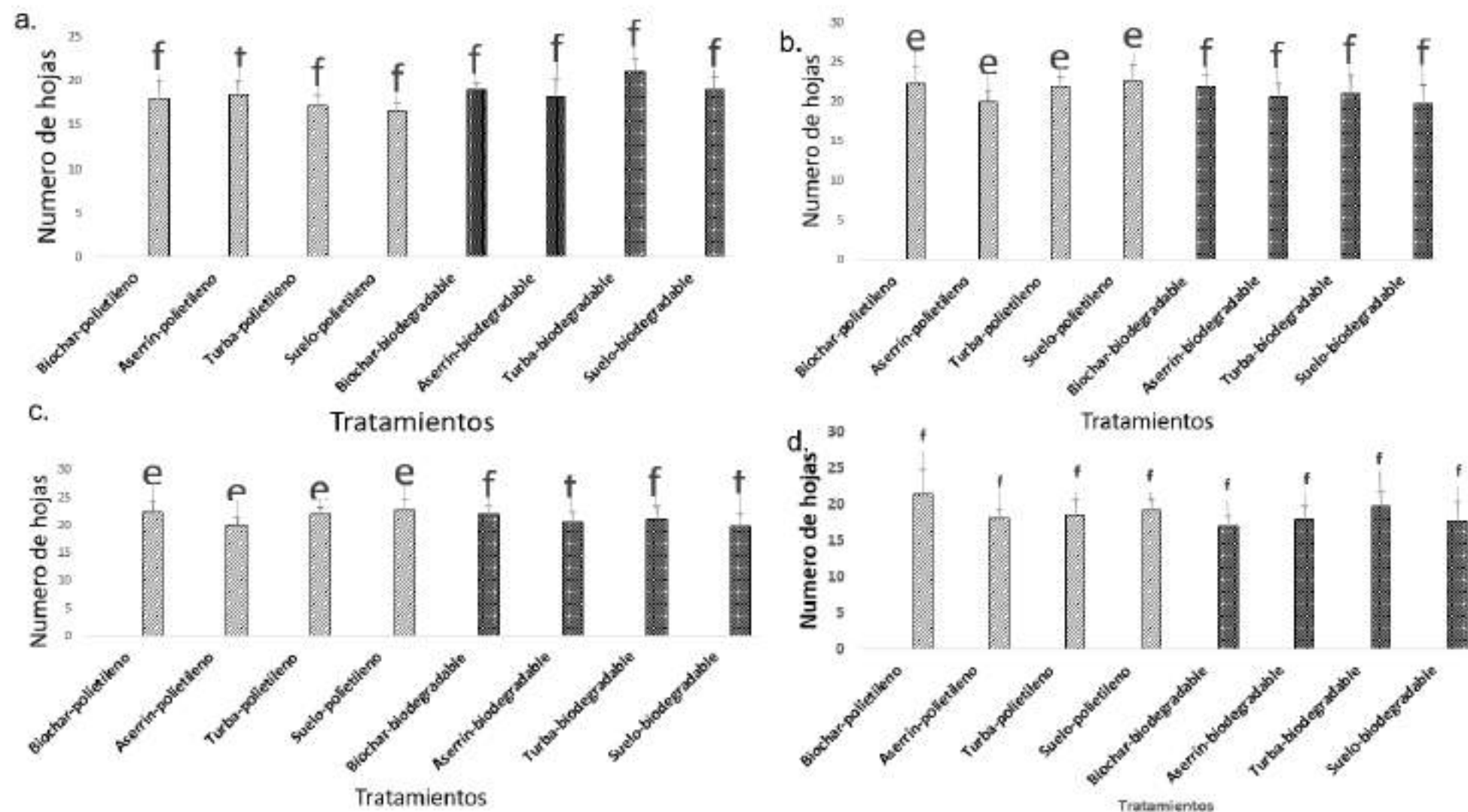


Figura 5: Numero de hojas de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.5 Área foliar

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* (caoba del pacifico), no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en el envase en cambio a el envase biodegradable si existen diferencias significativas en el sustrato, turba con el envase, donde determino que es el mejor tratamiento (Figura 6).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), si existen diferencias significativas con el sustrato aserrín y turba con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable también existen diferencias significativas en los tipos de sustratos suelo con el envase de biodegradable (Figura 6).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro), si existen diferencias significativas con el sustrato aserrín y biochar con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable también existen diferencias significativas en los tipos de sustratos turba y aserrín con el envase de biodegradable, donde se comportaron de manera, y el que menos respuesta fue el envase biodegradable con suelo (Figura 6).

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel) no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en el envase en cambio al envase biodegradable si existen diferencias significativas en el sustrato, turba con el envase, donde determino que es el mejor tratamiento (Figura 6).

El desarrollo forestal cobra cada día una mayor importancia en los distintos países del mundo y es un factor clave en la generación de bienes y servicios, como fuente de materias primas para elaborar diversos productos a base de madera y celulosa, además de proporcionar combustible para muchas familias alrededor del mundo (Guigues 2018).

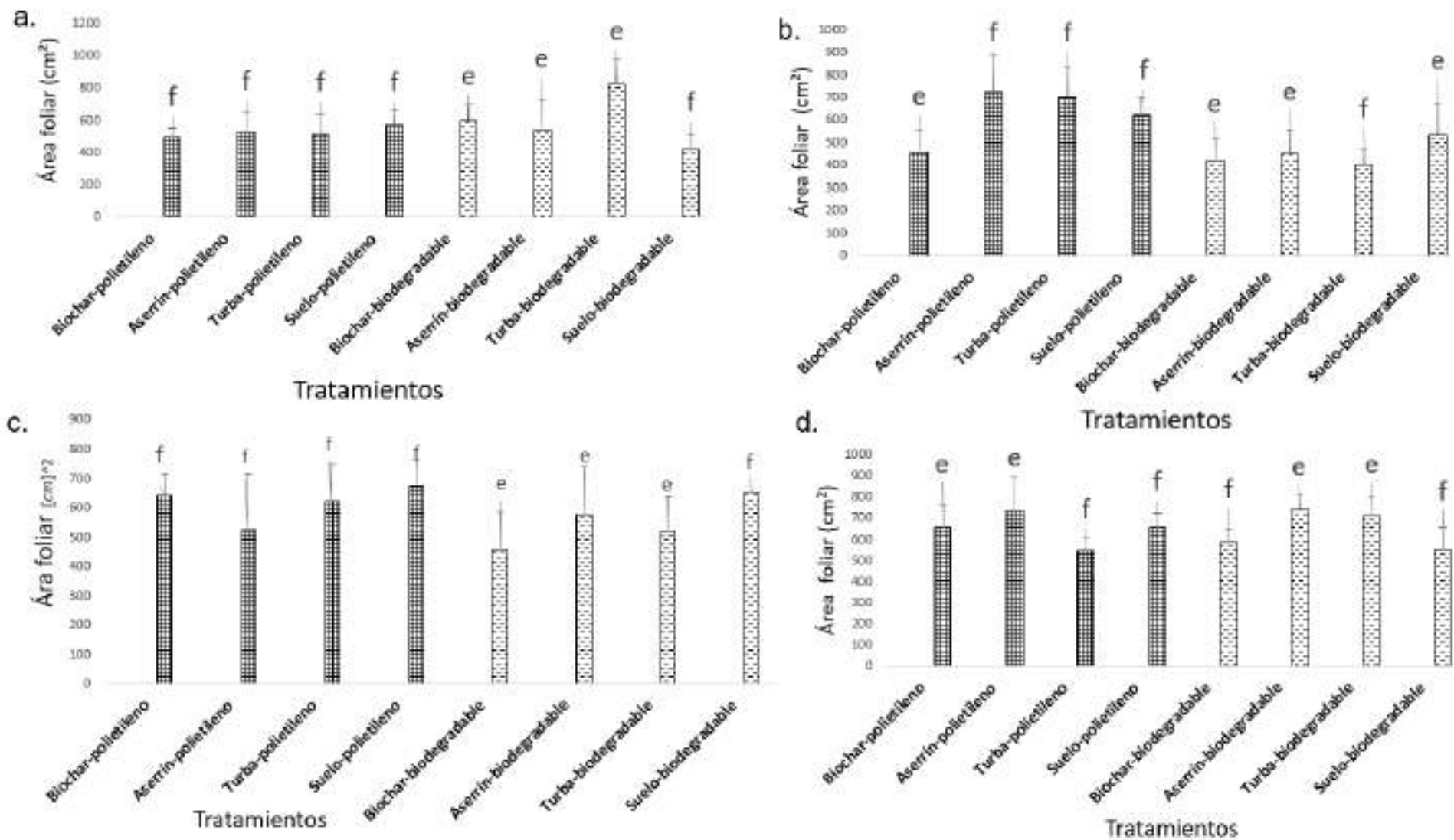


Figura 6: Área foliar de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro), y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.6 Lignificación

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* (caoba del pacífico), no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en cambio a el envase biodegradable si existen diferencias significativas en el sustrato, turba con el envase, donde determino que es el mejor tratamiento (Figura 7).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; en cambio a el envase biodegradable si existen diferencias significativas en el sustrato, turba con el envase, donde determino que es el mejor tratamiento (Figura 7).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro), si existen diferencias significativas con el sustrato aserrín, turba y biochar con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable también no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos turba y aserrín con el envase de biodegradable, donde se comportaron de manera, en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar; (Figura 7).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel), sí existen diferencias significativas con el sustrato aserrín, biochar y turba con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos turba y aserrín con el envase de biodegradable, en los tipos de sustratos, con el envase biodegradable, donde se comportaron de manera similar (Figura 7).

La disminución del suministro de agua induce el estrés hídrico, lo cual contribuye a reducir el crecimiento y afecta la lignina, promover la aparición de la yema apical e inicia mecanismos de resistencia a sequías y bajas temperaturas (Ramírez y López 2014). De manera similar a los resultados en el estudio se puede determinar que la lignina no tuvo diferencias significativas ya que los sustratos y envases se vieron afectados por la temperatura y la cantidad de agua.

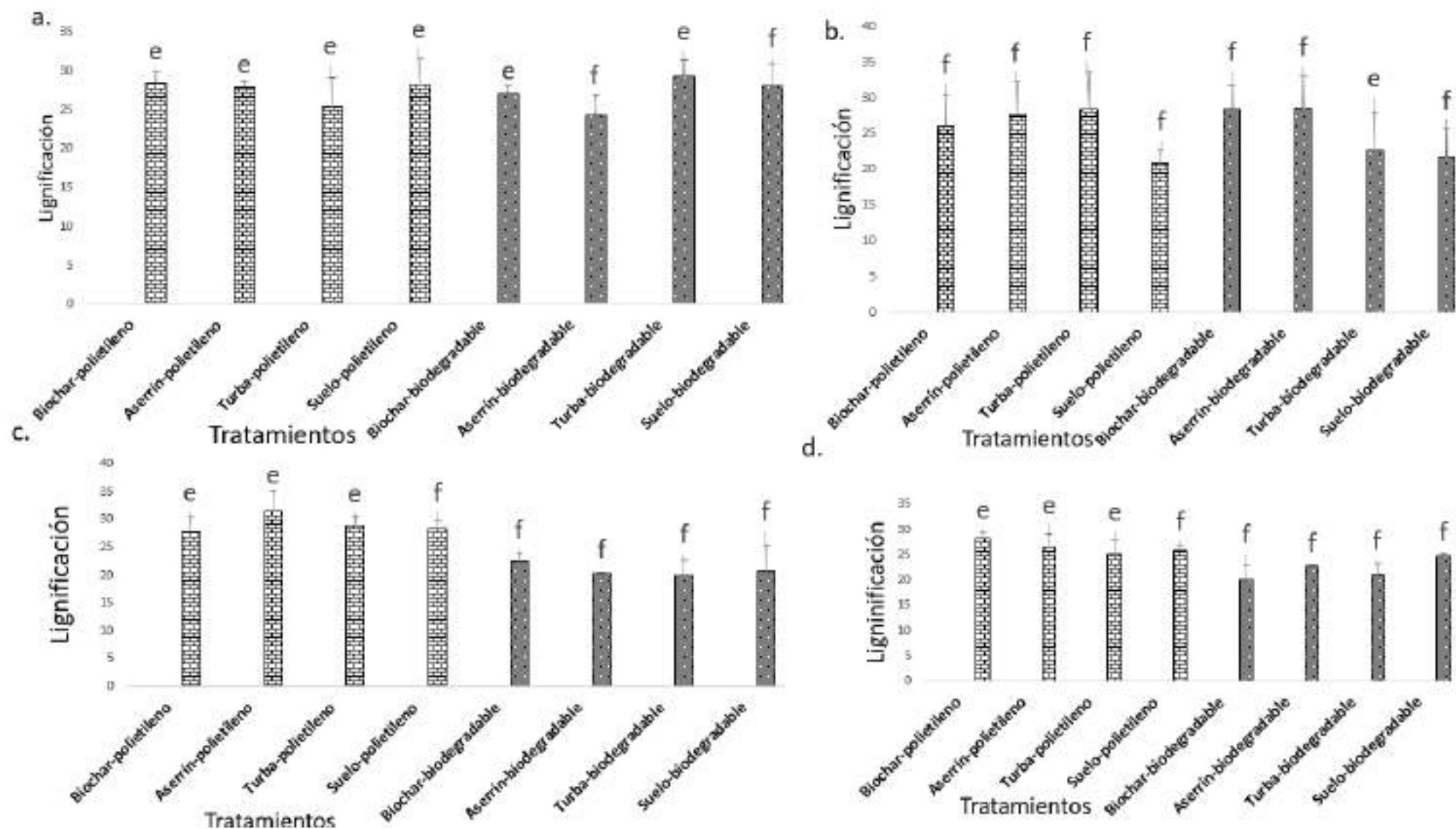


Figura 7: Índice de lignificación de las especies a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.7 Biomasa aérea y de la raíz

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) si existen diferencias significativas con el sustrato turba con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable también existen diferencias significativas en los tipos de sustratos turba, suelo y aserrín con el envase de biodegradable, en los tipos de sustratos, con el envase biodegradable, donde se comportaron de manera similar; en base a los resultados para la biomasa radicular no presentan diferencias significativas (Figura 8).

En base a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), si existen diferencias significativas con el sustrato suelo con el envase de polietileno, en cambio en el biodegradable también existen diferencias significativas en los tipos de sustratos turba y aserrín con el envase de biodegradable para la variable de biomasa radicular la mejor combinación fue el envase biodegradable con el sustrato biochar (Figura 8).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro), si existen diferencias significativas con el sustrato aserrín y turba con el envase de polietileno siendo los mejores, en el biodegradable también existen diferencias significativas en los tipos de sustratos suelo y turba con el envase biodegradable, los resultados de biomasa radicular presentan diferencias significativas en el sustrato turba con el envase polietileno y en el envase biodegradable los mejores sustratos fueron biochar y aserrín donde reaccionaron similar (Figura 8).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel), si existen diferencias significativas con el sustrato suelo y turba con el envase de polietileno, donde se obtuvieron los mejores resultados, en el biodegradable también existen diferencias significativas en los tipos de sustratos turba y suelo con el envase biodegradable, en los tipos de sustratos, donde se comportaron de manera similar; en cuanto a los resultados de la biomasa radicular para el envase polietileno y biodegradable funciono mejor el sustrato suelo (Figura 8).

Los resultados evidencian que los tratamientos con biochar en envases biodegradables favorecen significativamente la biomasa aérea, mientras que el sistema radicular presenta menor sensibilidad a estos factores de acuerdo con (Chang *et al.* 2015). Según los resultados obtenidos concuerdo con (Chang *et al.* 2015), la biomasa aérea reacciono mejor con el envase biodegradable y el sustrato suelo con turba, para el sistema radicular tuvieron una similitud entre los envases con el sustrato suelo.

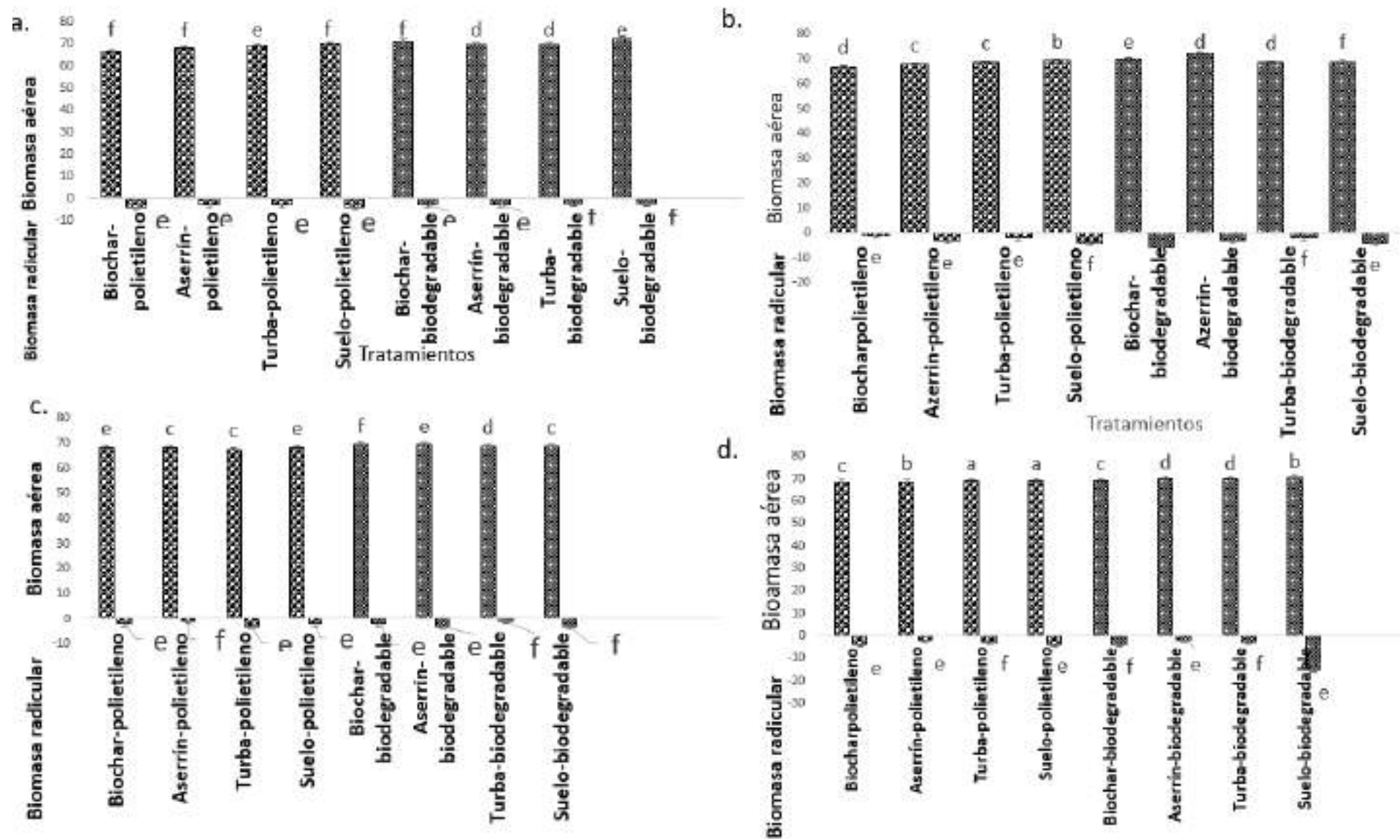


Figura 8: Biomasa aérea y la raíz, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacífico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.8 Índice de Esbeltez

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* (caoba del pacífico), si existen diferencias significativas con el sustrato turba con el envase de polietileno, en el envase biodegradable también existen diferencias significativas con el sustrato biochar y aserrín envase de biodegradable siendo los mejores (Figura 9).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), si existen diferencias significativas con el sustrato biochar y suelo con el envase de polietileno en cambio el envase biodegradable también existen diferencias significativas en el sustrato, biochar con el envase, donde se determinó que es el mejor tratamiento (Figura 9).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro) no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar, en cambio en el biodegradable si existen diferencias significativas con el sustrato aserrín, biochar siendo los mejores con el envase biodegradable (Figura 9).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel), si existen diferencias significativas con el sustrato turba y suelo con el envase de polietileno, en el envase biodegradable existen diferencias significativas en los tipos de sustratos turba y aserrín y biochar con el envase de biodegradable; (Figura 9).

Los sustratos más porosos favorecen la morfología de las plántulas, el destubetado, la estabilidad del cepellón, la arquitectura radical, y la veltez de la planta (Leyva *et al.* 2019). De acuerdo a los resultados concuerda ya que los sustratos que mejor reaccionaron fueron suelo, turba y biochar.

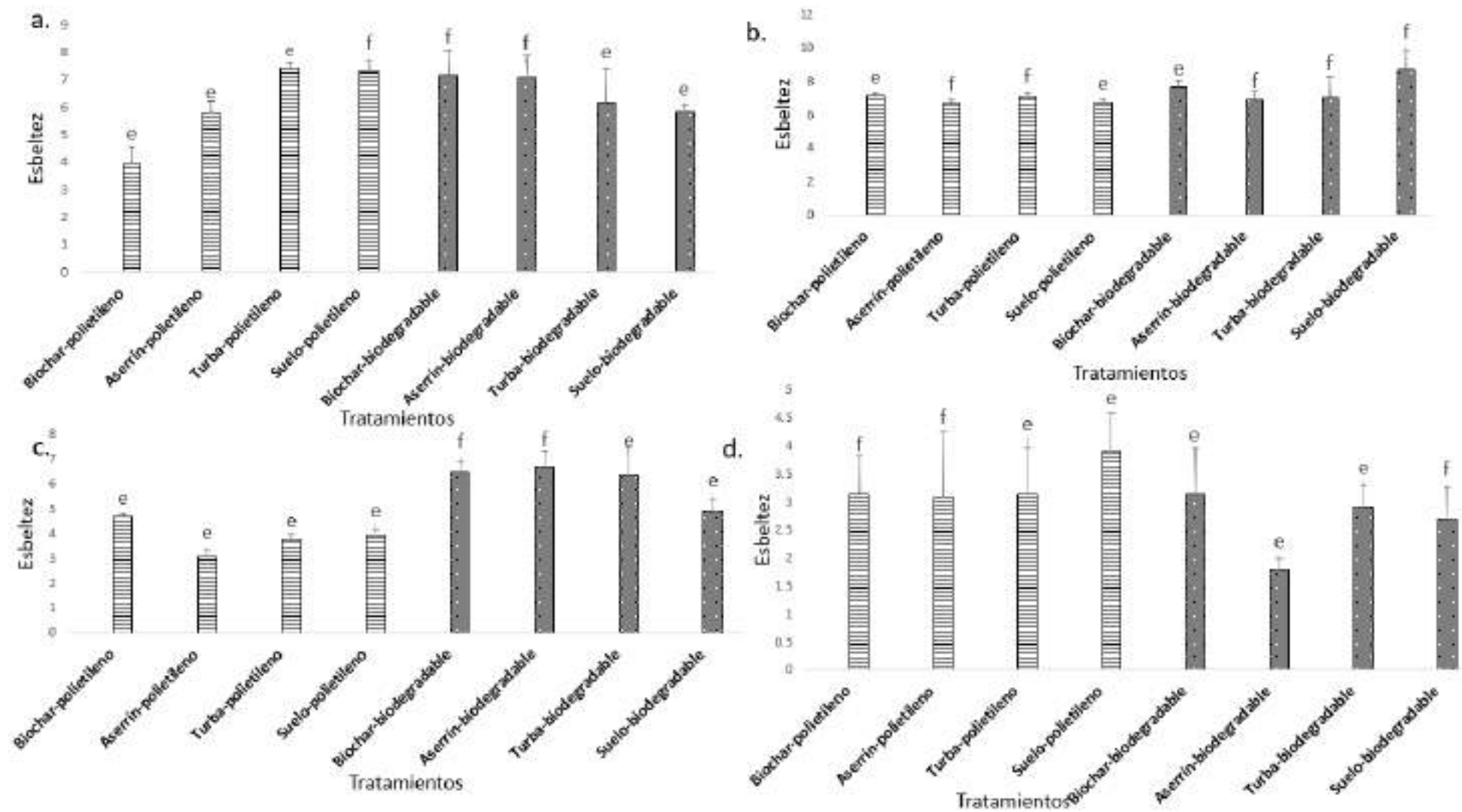


Figura 9: Veltez de las especies, a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.9 Índice de Dickson

En cuanto a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia humilis* (caoba del pacífico), si existen diferencias significativas con el sustrato turba con el envase de polietileno, en el envase biodegradable también existen diferencias significativas con el sustrato turba envase de biodegradable siendo el mejor sustrato (Figura 10).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), si existen diferencias significativas con el sustrato biochar y suelo con el envase de polietileno, en cambio el envase biodegradable también existe diferencias significativas en el sustrato, biochar con el envase, donde se determinó que es el mejor tratamiento (Figura 10).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cedrela odorata* (cedro) no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase de polietileno, donde se comportaron de manera similar, en el envase biodegradable no existen diferencias significativas en los tipos de sustratos, con el envase biodegradable, donde se comportaron de manera similar (Figura 10).

De acuerdo a los resultados obtenidos según el análisis estadístico y prueba de Tukey ($p > 0.05$) de la especie *Cordia alliodora* (laurel), si existen diferencias significativas con el sustrato biochar con el envase de polietileno. en cambio, al envase biodegradable también existen diferencias significativas en el sustrato, turba con el envase biodegradable donde se determinó que es el mejor tratamiento (Figura 10).

Un índice de calidad es la combinación de dos o más parámetros morfológicos o fisiológicos que describe atributos abstractos de la planta como son el balance y la robustez, y representa el valor más cercano para predecir el rendimiento de la planta en campo, comparado con lo que pudiera determinar cualquier parámetro individual (Cetina *et al.* 1999).

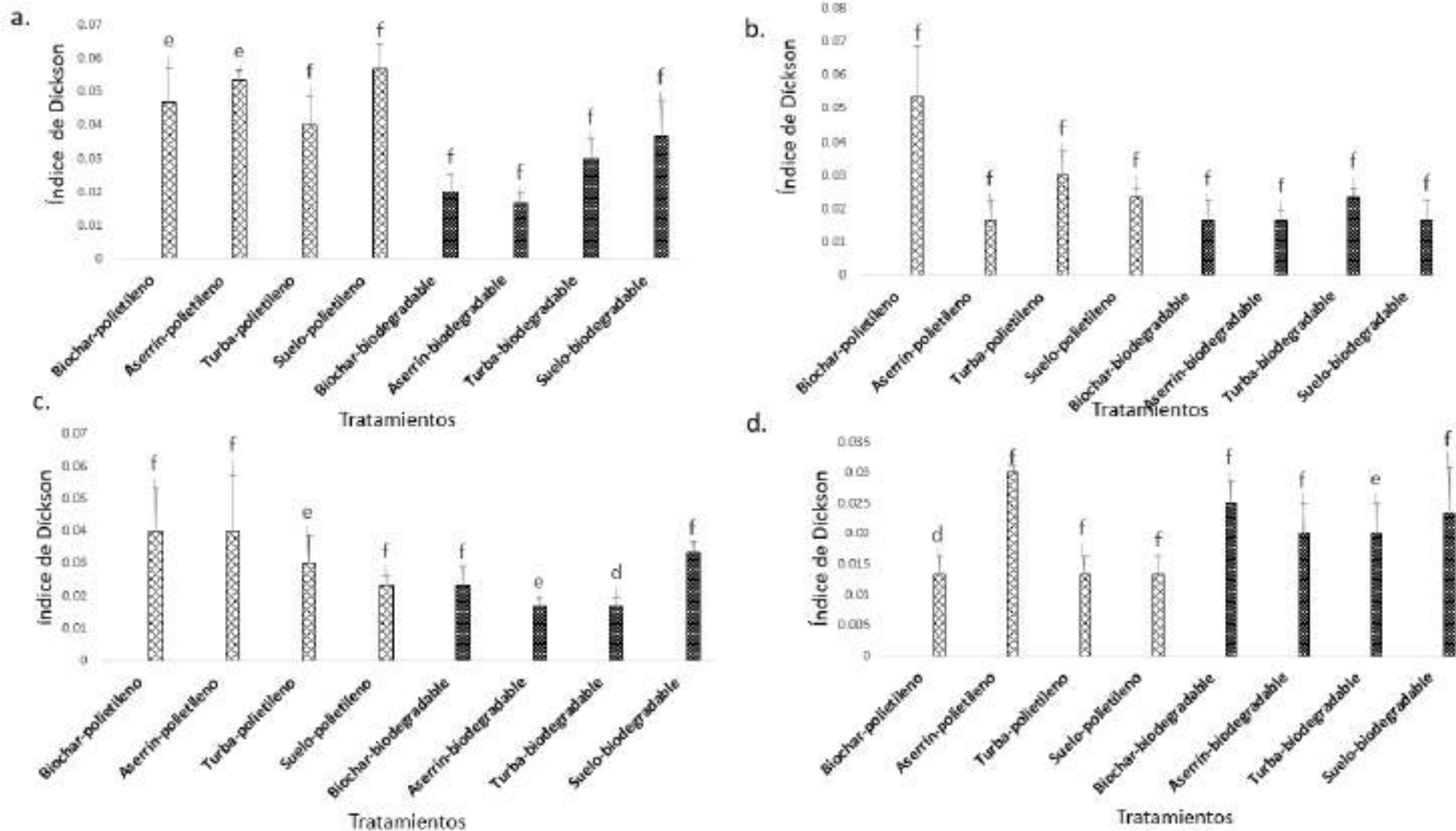


Figura 10: Índice de Dickson de a. *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) b. *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), c. *Cedrela odorata* (cedro) y d. *Cordia alliodora* (laurel), en el estudio de envases y sustratos. Barras indican error estandar de la media. Letras indican diferencias significativas a un F-valor de 5% entre las especies.

5.10 Análisis de pH

Tabla 2: pH analizado en el estudio de envases y sustratos.

N lab	pH	Sustratos
587	6.73	S3
588	9.14	S1
589	8.02	S2
590	7.87	S4
591	10.4	Biochar
592	5.92	Turba
593	8.63	Bocashi
MRI-1	6.95	Control

Los resultados analizados en el laboratorio el sustrato que se encuentra dentro de muy cercanos rangos óptimos es el sustrato tres (turba), y de acuerdo a los resultados en el estudio la turba fue uno de los mejores sustratos donde las plantas se desarrollaron mejor en ambos envases y los S1, S2, presentan valores alcalinos, sin embargo pueden ser útiles para corregir suelos ácidos, es necesario tener en cuenta que se deben de aplicar en menores dosis o combinarse con sustratos mas neutros par equilibrar el pH (Tabla 2).

5.11 Costos

Los resultados de costos entre los materiales para el estudio muestran, que la mayor parte del costo se concentra en los envases biodegradables y el sustrato turba, para la elaboración del bocashi estos fueron tomados como costos de un día de trabajo estos materiales que se encontraban a la disposición, la melaza y otros componentes fueron adquiridos comercialmente con costos muy accesible.

5.11.1 Costos por planta

Tabla 3: Precio por especie y tipo de envase y sustrato utilizados en el estudio de envases y sustratos

Sustrato	Tipo de envase	Especie	Precio por planta
(S1) Biochar	Polietileno	<i>Swietenia humillis</i>	2.65
(S1) Biochar	Polietileno	<i>Swietenia macrophylla</i>	2.65
(S1) Biochar	Polietileno	<i>Cedrela Odorata</i>	2.65
(S1) Biochar	Polietileno	<i>Cordia alliodora</i>	2.65
(S1) Biochar	Biodegradable	<i>Swietenia humillis</i>	3.65
(S1) Biochar	Biodegradable	<i>Swietenia macrophylla</i>	3.65
(S1) Biochar	Biodegradable	<i>Cedrela Odorata</i>	3.65
(S1) Biochar	Biodegradable	<i>Cordia alliodora</i>	3.65
(S2) Aserrín	Polietileno	<i>Swietenia humillis</i>	2.52
(S2) Aserrín	Polietileno	<i>Swietenia macrophylla</i>	2.52
(S2) Aserrín	Polietileno	<i>Cedrela Odorata</i>	2.52
(S2) Aserrín	Polietileno	<i>Cordia alliodora</i>	2.52
(S2) Aserrín	Biodegradable	<i>Swietenia humillis</i>	3.52
(S2) Aserrín	Biodegradable	<i>Swietenia macrophylla</i>	3.52
(S2) Aserrín	Biodegradable	<i>Cedrela Odorata</i>	3.52
(S2) Aserrín	Biodegradable	<i>Cordia alliodora</i>	3.52
(S3) Turba	Polietileno	<i>Swietenia humillis</i>	3.57
(S3) Turba	Polietileno	<i>Swietenia macrophylla</i>	3.57
(S3) Turba	Polietileno	<i>Cedrela Odorata</i>	3.57
(S3) Turba	Polietileno	<i>Cordia alliodora</i>	3.57
(S3) Turba	Polietileno	<i>Swietenia humillis</i>	4.57
(S3) Turba	Biodegradable	<i>Swietenia macrophylla</i>	4.57
(S3) Turba	Biodegradable	<i>Cedrela Odorata</i>	4.57
(S3) Turba	Biodegradable	<i>Cordia alliodora</i>	4.57

Los costos por especie reflejan que el uso de los distintos tipos de envases y sustratos inciden directamente en el costo final de cada plántula. El uso de envases de polietileno y sustratos mas ricos en minerales pueden reducir el costo, mientras que el uso de envases biodegradables y sustratos mas básicos elevan los costos (Tabla 5).

VI. CONCLUSIONES

- a. Las semillas de *Swietenia macrophylla* mostraron la mejor germinación, las cuales fueron recolectadas localmente. Mientras que la *Cedrela odorata* presentó los niveles de germinación mas bajos.
- b. El mayor crecimiento de las plántulas fue en *Swietenia humillis* y *Swietenia macrophylla*, en las variables de este estudio. Mientras que el *Cordia alliodora* tuvo el menor crecimiento, relacionado a los sustratos y envases.
- c. La mejor calidad de las plántulas de *Swietenia humillis* fue con la combinación suelo y turba, en el envase polietileno. Para *Swietenia macrophylla*, fue el suelo y aserrín con polietileno. Para *Cedrela odorata* fue biochar con el envase biodegradable y para *Cordia alliodora* fue el envase de polietileno con turba.
- d. El uso de envases polietileno limita el desarrollo de biomasa radicular en las plántulas, mientras que los envases biodegradables presentan mejores resultados esto puede estar relacionado a que el envase biodegradable no retiene mucho la humedad las plantas entran en estrés y su raíz desarrolla más rápido en busca de nutrientes.
- e. En base al estudio ningún tipo de sustrato resulto ser mas favorable en todas las variables evaluadas, cada uno aporta beneficios para cada especie, los resultados también pueden estar relacionados al tipo de envase utilizado. Lo que influye en el desarrollo de las plántulas.

VII. RECOMENDACIONES

- a. Priorizar los sustratos antes de la germinación de las semillas, con el objetivo que las plantas ya están listas para el repique los sustratos estén en los envases que se utilizaran, con el fin que las plántulas no se pasen del tiempo de repique.
- b. Hacer inspecciones del cuidado y control de procedencia de las semillas asegurarse que no sean mayor a dos años de recolección, se recomienda que se usen semillas locales.
- c. Se recomienda regar las plantas de forma moderada, manteniendo el sustrato húmedo sin inundar las plantas, preferiblemente en las horas de la mañana o al final de la tarde para reducir la evaporación.
- d. Realizar estudios de biochar utilizando una sola especie vegetal de importancia local, para facilitar el control de variables como pH y materia orgánica.
- e. Se recomienda el uso de envases de polietileno si lo que se quiere lograr es un crecimiento rápido de las plántulas y para un crecimiento de la biomasa radicular se recomienda utilizar los envases biodegradables.
- f. Se recomienda el sustrato de aserrín por los costos económicos y productividad, tiene el menor costo en kg y proporcionando un balance nutricional que impulsa el desarrollo de las especies arbóreas tradicionales evaluados en el estudio.

VII. BIBLIOGRAFIAS

- Alfred, G; Vincent, M. 2020. Materia orgánica del suelo, del Programa Horizonte (en línea, poster). Consultado el 20 de ene. de 2025. Disponible en <https://orgprints.org/id/eprint/43417/7/MATERIA%20ORGA%CC%81NICA%20DEL%20SUELO.pdf>.
- Jáuregui, JP. 2001. Evaluación del crecimiento de Caoba del Pacífico (*Swietenia humilis*) en tres sitios en Zamorano, Honduras (en línea). Tesis .Consultado el 25 de ene. de 2025. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/0c360271-1281-4cbb-976b-78b110a61f1e/content>.
- Bailarín A, JM; S. 2011. Comportamiento y manejo de Tetona grandis L. f. y *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en Zamorano, Honduras. (en línea). Tesis consultado el 25 de ene. de 2025. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/8d253db3-22b2-4d57-920a-1464127c8ca3/content>.
- Briceño, JA; Rangel Ch; J; Bogino, S. 2016. Estudio de los anillos de crecimiento de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav. (en línea). Tesis Oken en Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Colombia. p 95. Consultado 15 de ene. de 2025.
- Cano, M; EE. 2017. Pino de Ocote *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl (en línea,). Guatemala Instituto Nacional de Bosques Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables. Consultado 19 de ene. de 2025. Disponible https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/Technical/PINO%20OCOTE.pdf.

Cetina, AV, González, H. V. y Vargas, H. J. 1999. El manejo en vivero de *Pinus greggii* Engelm. y la calidad de planta. Agrociencia. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 423 p. consultado el 31 de jul. 2025. Disponible <https://www.agrocienciacolpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1628/1628>

COVERPAN (Cobertura Vegetal Permanente Alternativa Nacional, Europa). 2019. Soluciones para el ambiente (Diapositiva) consultado el 15 de ene. 2025. Disponible en <https://www.coverpan.es/blog/beneficios-los-envases-biodegradables/>.

Euceda, L. 2022. El pH: ¿Qué es? ¿cómo se mide? (en línea). Tesis Ing. Agrónomo Leonel Euceda UNAH-CURLA. Consultado 16 de ene. de 2025. Disponible en <https://vinculacion.unah.edu.hn/dmsdocument/16228-4-el-ph-que-es-y-como-se-mide-pdf>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2021. Consultado 15 de ene. de 2025. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2021. FAO: Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las américas (en línea, sitio web). Consultado 15 de ene. de 2025. Disponible en <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content>.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. FAO: Manteniendo nuestras tierras sanas y limpias (en línea, sitio web). Consultado 15 de ene. de 2025. Disponible en https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils2015/docs/Fact_sheets/Es_IYS_Veg_Print.pdf.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Europa). 2006. FAO: Better Forestry, Less Poverty: A Practitioner's Guide. Food and Agriculture Organization of the United Nations Electronic Publishing Policy and Support Branch Information (en línea, sitio web). Consultado el 15 de ene. De 2025.

Farrel, J; AM. Sistemas Agroforestales En Módulo de Diseño y Manejo de Agro Ecosistemas 1996. de III Curso sobre Agroecología y Desarrollo Rural 1996. (en línea, curso). Lima - Perú. Consultado 12 de ene. 2025.

González, Huerta, AJ; Pérez López, D; Hernández Ávila, J; Franco-Martínez, JRP; Balbuena Melgarejo; Rubí-Arriaga, M. 2024. Serie de experimentos para tratamientos anidados en grupos con arreglo de bloques completos balanceados. Consultado 15 de ene. de 2025.

Guilibaldo, Bryan, RO. 2016. Evaluación del uso de vermiculita y perlita como alternativas al Phytigel® en la propagación in vitro de camote (*Ipomoea batatas* L.). (en línea). Tesis Lic. Orellana, Honduras, Zamorano. consultado el 16 de ene. de 2025. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/75564f8f-a3d9-497a-a955-040360c52b90/content>.

Guigues, A. 2018. Evaluación de crecimiento de *Cedrela odorata* y *Grevillea robusta* en diferentes sustratos durante su fase de propagación. (en línea, sitio web) consultado el 29 de jul. de 2025. Disponible [335277410_Evaluacion_de_crecimiento_de_Cedrela_odorata_y_Grevillea_robusta_en_diferentes_sustratos_durante_su_fase_de_propagacion](https://doi.org/10.335277410_Evaluacion_de_crecimiento_de_Cedrela_odorata_y_Grevillea_robusta_en_diferentes_sustratos_durante_su_fase_de_propagacion)

Google- heart. 2005-2025. Google- heart (en linea). Consultado en 11 de ago. de 25. Disponible en <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

- Instituto Nacional de Bosques. 2017. Cedro *Cedrela odorata*; paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB. (en línea, sitio web) consultado el 29 de jul. de 2025. Disponible en https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/technical/CEDROD.pdf?v=1709107211
- Jour 2015. Biodegradation of three tetracyclines in river sediment Chang, Bea-Ven Ren, Yen-Lin Ecological Engineering 75 p. (en línea, sitio web) consultado el 16 de ene. de 2025. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.039>
- López, OR; Ramírez JK. (2014). Evaluación de la influencia de la fertilización en el vivero sobre la calidad de la planta de *Pinus oocarpa* Schiede y su desarrollo inicial en campo. . (en línea, sitio web) consultado el 29 de jul. de 2025. Disponible. <https://repositorio.una.edu.ni/2755/1/tnf04t591.pdf>
- Martínez, H. 2015. Especies para sistemas agroforestales: condiciones para su cultivo “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono *Esculentum*. (En línea, informe). Moravia. 53 P. Especies para sistemas agroforestales Consultado 28 jul. 2025.
- Morales, D; Rodríguez, PJA; Torrecillas, A; Sánchez Blanco; María de J. 2025. Efecto de altas temperaturas en algunas variables del crecimiento y el intercambio gaseoso en plantas de tomate *Lycopersicon Esculentum* (En línea, informe). La Habana, Cuba, Instituto Nacional De Ciencias Agrícolas. 5 P. Informe De Cultivos Industriales. Consultado 15 Ene. 2025. Disponible en https://Www.Redinnovagro.In/Pdfs/Referencias_Bibliograficas.Pdf.
- Osorio, NW. 2009. Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos & Centro Nacional de Investigaciones de Café (Eds.), *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola* (en línea). Segundo seminario regional comité regional eje cafetero Cenicafé. Consultado 10 de ene. 2025. Disponible en https://doi.org/10.38141/10791/0003_3.

Pastor, Y; FM. 2014. Universidad Politecnica De Cartagena. (en línea, sitio web). Consultado 15 de ene. de 2025.

Pineda, M. 2025. Pinus Oocarpa, árbol nacional de Honduras (en línea, poster). Consultado el 25 de ene. de 2025. Disponible en <https://www.pensamientosmaupinianos.com/2021/08/pinus-oocarpa-arbol-nacional-de-honduras.html>.

Quezada, RG. 2005. (estación internacional agrícola, Honduras Conociendo sustratos para sembrar plantas. (en línea, sitio web). Consultado 15 de ene. 2025. Disponible en <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-0806.pdf>.

Rizzo, SZ. 2020. Efecto de diferentes tipos de luz en el crecimiento de plantas in vitro: Revisión de Literatura (en línea). Tesis Rogel Castillo, M.Sc. Honduras. Consultado 15 ene de 2025. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7ad4cd68-8ded-4fa6-a10f-35540b970b07/content>.

Rodríguez, RJ. 2024. “Germinación de semillas y crecimiento inicial de plántulas de Cedrela odorata (L) (cedro) en tres tipos de sustratos” (en línea, sitio web) consultado el 29 de jul. de 2025. Disponible <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/626cb9c3-4efc-4bc9-b96c-ed187ada3fda/content>

Sánchez, R; Domínguez, A. 2014. Producción de plantas en viveros forestales (en línea, guía técnica). Consultado el 15 de ene. de 2025. Disponible en <https://www.jica.go.jp/Resource/project/spanish/ecuador/001/materials/c8h0vm0008bcae4-att/manejo.pdf>.

SPG (Sistema de Preferencias Generalizadas Europa). 2023. SPG: Soluciones para el ambiente (en línea, sitio web). Consultado 15 de ene de 2025.

Soriano, S; María, D. 2018. Conductividad eléctrica del suelo, (Universitat Politècnica de València, España) (en línea). Tesis Ing. Soto. Consultado el 20 de ene. de 2025. Disponible

en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano%20-%20Conductividad%20el%C3%A9ctrica%20del%20suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Vázquez, JM. 2017. Acidez del suelo Origen, diagnóstico, consecuencias y tratamiento, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP. (en línea, sitio web) consultado el 16 de ene. de 2025. Disponible en https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/154576/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1: Prueba estadística para la variable de diámetro, utilizado en el estudio de envases y sustratos.

Variável analisada: DIAMETRO__

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICI_N	2	0.000100	0.000050	0.118	0.8893
TRATAMIENT	31	0.358133	0.011553	27.166	0.0000
erro	62	0.026367	0.000425		
Total corrigido	95	0.384600			
CV (%) =	10.18				
Média geral:	0.2025000	Número de observações:	96		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 0.011906144312977

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
30	0.040000	a1
29	0.073333	a1
32	0.113333	a2
31	0.126667	a2
20	0.130000	a2
26	0.133333	a2
19	0.160000	a3
16	0.160000	a3
7	0.170000	a3
28	0.170000	a3
21	0.180000	a3
22	0.180000	a3
27	0.183333	a3
8	0.196667	a4
25	0.200000	a4
17	0.213333	a4
14	0.233333	a5
15	0.233333	a5
13	0.236667	a5
18	0.236667	a5
11	0.240000	a5
10	0.240000	a5
12	0.243333	a5
6	0.250000	a6
5	0.256667	a6
2	0.256667	a6
23	0.260000	a6
9	0.263333	a6
4	0.263333	a6
3	0.266667	a6
1	0.283333	a6

Anexo 2: Prova estatística para a variável de altura, utilizado em el estudio de envases y sustratos.

Variável analisada: ALTURA__CM

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICI_N	2	12.335327	6.167664	0.813	0.4480
TRATAMIENT	31	3431.171400	110.682948	14.598	0.0000
erro	62	470.102206	7.582294		
Total corrigido	95	3913.608933			
CV (%) =	24.51				
Média geral:	11.2333333	Número de observações:		96	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 1.5897896767805

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
30	1.926667	a1
13	2.916667	a1
29	3.083333	a1
14	3.210000	a1
15	4.126667	a1
32	4.210000	a1
25	4.670000	a1
31	5.043333	a1
26	5.836667	a1
16	6.376667	a2
10	7.170000	a2
12	7.630000	a2
28	8.003333	a2
11	8.543333	a2
27	9.043333	a2
1	10.666667	a2
9	10.916667	a2
19	13.266667	a3
22	14.503333	a3
18	14.960000	a3
2	15.333333	a3
17	15.543333	a3
5	16.083333	a3
6	16.500000	a3
23	17.213333	a4
8	18.333333	a4
7	18.386667	a4
20	18.586667	a4
21	18.876667	a4
3	18.960000	a4
4	19.586667	a4

Anexo 3: Prova estatística para a variável de número de folhas utilizado no estudo de recipientes e substratos.

Variável analisada: NUMERO_DE_

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICI_N	2	36.705044	18.352522	0.481	0.6207
TRATAMIENT	31	1647.947891	53.159609	1.392	0.1336
erro	62	2367.725156	38.189115		
Total corrigido	95	4052.378091			
CV (%) =	34.87				
Média geral:	17.7196875	Número de observações:	96		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 3.56787123382123

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
9	11.166667	a1
22	11.166667	a1
8	12.666667	a1
25	13.000000	a1
24	13.166667	a1
12	13.543333	a1
4	13.666667	a1
20	13.766667	a1
31	15.103333	a1
17	15.333333	a1
1	15.540000	a1
21	15.800000	a1
19	16.000000	a1
32	16.000000	a1
5	16.333333	a1
2	16.676667	a1
14	17.000000	a1
16	17.333333	a1
18	18.000000	a1
28	18.166667	a1
6	19.333333	a1
23	19.666667	a1
10	20.400000	a1
26	20.666667	a1
27	21.750000	a1
13	21.833333	a1
7	22.666667	a1
30	22.866667	a1
11	23.250000	a1
29	23.333333	a1
3	23.500000	a1
15	28.333333	a1

Anexo 4: Prova estatística para a variável de área foliar, utilizado em el estudio de envases y sustratos.

Variável analisada: N_REA_FOLI

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICI_N	2	36736.126015	18368.063007	0.443	0.6439
TRATAMIENT	31	3369113.518850	108681.081253	2.623	0.0006
erro	62	2568606.919319	41429.143860		
Total corrigido	95	5974456.564183			
CV (%) =	38.49				
Média geral:	528.7679167	Número de observações:	96		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3

Erro padrão: 117.51474213899

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
20	166.850000	a1
18	223.566667	a1
19	227.750000	a1
17	266.796667	a1
4	339.956667	a1
24	386.866667	a1
1	394.120000	a1
12	397.133333	a1
32	408.583333	a1
29	430.250000	a1
27	432.030000	a1
15	436.796667	a1
28	463.826667	a1
2	483.333333	a1
11	496.933333	a1
8	500.166667	a1
10	500.426667	a1
3	540.383333	a1
31	553.100000	a2
7	570.916667	a2
25	580.686667	a2
5	583.960000	a2
16	610.556667	a2
9	627.123333	a2
22	700.810000	a2
13	727.066667	a2
23	743.963333	a2
30	766.866667	a2
6	788.400000	a2
21	800.553333	a2
14	833.633333	a2
26	937.166667	a2

Anexo 5:Prueba estadística para la variable de índice de lignificación, utilizado en el estudio de envases y sustratos.

Variável analisada: LIGNIFICAC

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICI_N	2	61.227775	30.613888	1.144	0.3252
TRATAMIENT	31	2590.973600	83.579794	3.123	0.0001
erro	62	1659.475025	26.765726		
Total corrigido	95	4311.676400			
CV (%) =	20.51				
Média geral:	25.2225000	Número de observações:	96		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 2.98695643365603

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
10	16.426667	a1
9	18.080000	a1
29	18.246667	a1
8	18.630000	a1
30	19.136667	a1
12	20.066667	a1
23	20.483333	a1
31	21.383333	a1
13	21.606667	a1
14	22.210000	a1
16	22.790000	a1
24	22.950000	a1
21	23.236667	a1
28	23.343333	a1
11	23.533333	a1
32	23.680000	a1
20	24.116667	a1
22	25.366667	a1
6	25.473333	a1
15	25.850000	a1
5	26.193333	a1
17	28.483333	a2
25	28.486667	a2
19	28.963333	a2
27	29.476667	a2
1	30.043333	a2
26	30.070000	a2
18	30.240000	a2
7	31.886667	a2
4	34.076667	a2
2	35.820000	a2
3	36.770000	a2

Anexo 6:Prueba estadística para la variable de Biomasa aérea, utilizado en el estudio de envases y sustratos.

Variável analisada: BIOMASA_DE

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETICI_N	2	8.106758	4.053379	2.284	0.1104
TRATAMIENT	31	1549.551532	49.985533	28.164	0.0000
erro	62	110.037108	1.774792		
Total corrigido	95	1667.695399			
CV (%) =	1.94				
Média geral:	68.8217708	Número de observações:	96		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 0.769153662560886

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	61.543333	a1
4	61.940000	a1
21	63.130000	a1
16	63.300000	a1
2	63.680000	a1
5	63.893333	a1
20	65.260000	a2
22	65.620000	a2
8	65.680000	a2
3	66.690000	a2
17	66.930000	a2
13	67.426667	a2
7	68.176667	a3
23	68.723333	a3
15	68.796667	a3
9	68.943333	a3
14	68.960000	a3
6	69.160000	a3
30	69.233333	a3
18	69.400000	a3
10	70.233333	a4
24	70.710000	a4
11	70.913333	a4
19	71.476667	a4
25	71.960000	a4
29	71.963333	a4
31	72.596667	a5
12	74.093333	a5
26	74.496667	a5
32	74.830000	a5
27	75.690000	a6
28	76.846667	a6

Anexo 7:Prueba estadística para el índice de calidad, utilizado en el estudio de envases y sustratos.

Variável analisada: IDC

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	0.000025	0.000013	0.075	0.9281
TRATAMIENT	31	0.018600	0.000600	3.586	0.0000
erro	62	0.010375	0.000167		
Total corrigido	95	0.029000			
CV (%) =	47.04				
Média geral:	0.0275000	Número de observações:	96		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 0.00746857214549562

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	0.013333	a1
21	0.013333	a1
27	0.013333	a1
29	0.013333	a1
6	0.016667	a1
8	0.016667	a1
15	0.016667	a1
19	0.020000	a1
24	0.020000	a1
20	0.020000	a1
11	0.020000	a1
30	0.020000	a1
7	0.020000	a1
9	0.020000	a1
3	0.020000	a1
4	0.020000	a1
14	0.023333	a1
16	0.023333	a1
28	0.026667	a1
26	0.026667	a1
10	0.026667	a1
32	0.026667	a1
13	0.030000	a1
17	0.030000	a1
18	0.036667	a2
2	0.036667	a2
31	0.036667	a2
22	0.040000	a2
1	0.050000	a2
12	0.050000	a2
23	0.066667	a3
25	0.066667	a3

Anexo 8:Prueba estadística para la variable de raíz, utilizado en el estudio de envases y sustratos.

Variável analisada: BIMASA_DE_

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	0.000452	0.000226	0.890	0.4159
TRATAMIENT	31	0.021396	0.000690	2.717	0.0004
erro	62	0.015748	0.000254		
Total corrigido	95	0.037596			
CV (%) =	6.12				
Média geral:	0.2602083	Número de observações:		96	

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmonica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 0.00920142481564637

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
23	0.226667	a1
24	0.233333	a1
29	0.236667	a1
18	0.243333	a1
15	0.243333	a1
31	0.243333	a1
12	0.246667	a1
8	0.246667	a1
27	0.246667	a1
7	0.246667	a1
32	0.256667	a2
25	0.256667	a2
1	0.260000	a2
22	0.260000	a2
26	0.260000	a2
16	0.263333	a2
10	0.263333	a2
6	0.263333	a2
2	0.263333	a2
13	0.266667	a2
19	0.266667	a2
14	0.266667	a2
3	0.270000	a2
5	0.270000	a2
21	0.273333	a2
17	0.273333	a2
4	0.273333	a2
30	0.280000	a2
11	0.280000	a2
28	0.280000	a2
9	0.283333	a2
20	0.283333	a2

Anexo 9: Prova estatística para o índice de velocidade, utilizado no estudo de recipientes e substratos.

Variável analisada: VELTEZ

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
REPETITION	2	2.685640	1.342820	0.793	0.4568
TRATAMIENT	31	334.608449	10.793821	6.378	0.0000
erro	62	104.930560	1.692428		
Total corrigido	95	442.224649			
CV (%) =	24.18				
Média geral:	5.3807292	Número de observações:	96		

Teste Scott-Knott (1974) para a FV TRATAMIENT

NMS: 0.05

Média harmônica do número de repetições (r): 3
 Erro padrão: 0.751094400151584

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
5	1.546667	a1
21	2.043333	a1
11	2.563333	a1
10	2.873333	a1
32	3.110000	a1
4	3.423333	a1
15	3.493333	a1
16	3.550000	a1
25	3.710000	a1
22	4.090000	a1
26	4.716667	a1
6	4.840000	a1
14	4.973333	a1
20	5.180000	a2
7	5.306667	a2
9	5.860000	a2
29	6.113333	a2
12	6.146667	a2
1	6.186667	a2
3	6.316667	a2
27	6.410000	a2
28	6.466667	a2
24	6.480000	a2
31	6.513333	a2
30	6.606667	a2
18	6.710000	a2
2	6.843333	a2
13	7.410000	a2
23	7.413333	a2
17	7.996667	a2
19	8.033333	a2
8	9.256667	a2

Anexo 10: Germinación de las especies *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro) y *Cordia alliodora* (laurel) utilizado en el estudio de envases y sustratos.



Anexo 11: Desinfección, siembra y llenado de bolsas de las especies *Swietenia humilis* (caoba del pacifico) *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro) y *Cordia alliodora* (laurel), utilizadas en el estudio de envases y sustratos.



Anexo 12:Preparación de los sustratos, utilizados en el estudio de envases y sustratos.



Anexo 13: Toma de la variable biomasa área y radicular de las cuatro especies en el laboratorio, utilizadas en el estudio de envases y sustratos.

