

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSERVACIÓN



Germinación y desarrollo de plántulas de especies latifoliadas utilizando tubetes y proporciones de sustratos, en etapa de umbráculo

PROYECTO DE TESIS

Presentado como requisito parcial previo a la realización del trabajo de investigación

POR:

Yeri Yoel Girón Varela

Catacamas, Olancho febrero de 2024

Germinación y desarrollo de plántulas de especies latifoliadas utilizando tubetes y
proporciones de sustratos, en etapa de umbráculo

por:

Yeri Yoel Girón Varela

M.Sc. Oscar Ferreira Catrileo

Director de tesis

Catacamas, Olancho febrero de 2024

ANTEPROYECTO DE TESIS PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE
AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA REALIZACIÓN DE
INVESTIGACIÓN

INDICE

I. INTRODUCCIÒN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
III. HIPOTESIS.....	3
3.1. Hipótesis de tubetes.....	3
IV. REVISION DE LITERATURA.....	4
4.1. Producción de plantas forestales	4
4.2. Uso de envases en la propagación de plantas forestales	4
4.2.1. Impacto ambiental de los envases	6
4.2.2. Tubetes	7
4.3. Umbráculo.....	8
4.3.2. Control ambiental de la estructura protegida (umbráculo).....	9
4.3.4. Factores fisiológicos que influyen en la germinación de semillas.....	11
4.4. Especies latifoliadas	12
4.5. Semillas latifoliadas	13
4.5.1. Calidad de las semillas	13
4.6. Especies forestales de interés en Honduras	15
4.7. Caoba del Atlántico (<i>Swietenia macrophylla</i>).....	16
4.7.1. Importancia económica caoba del pacifico (<i>Swietenia macrophylla</i>).....	16
4.7.2. Protección y conservación de las <i>Swietenia macrophylla</i>	17
4.7.3. Cedro amargo (<i>Cedrela odorata</i>).....	17
4.7.4. Importancia económica cedro amargo (<i>Cedrela odorata</i>)	17
4.7.5. Laurel (<i>Cordia alliodora</i>).....	17
4.7.7. Granadillo (<i>Dalbergia spp</i>)	18
4.7.9. Cortez amarillo (<i>Handroanthus chrysanthus</i>).....	19
4.8. Sustratos	20
4.8.1. Importancia de la elección del sustrato en la germinación y desarrollo de plántulas 20	
4.8.2.1. Sustrato perlita	21
4.8.2.2. Sustrato vermiculita.....	22
4.8.2.3. Sustrato turba báltica	22

4.8.2.4. Sustrato comercial®	22
4.8.2.5. Sustrato bocashi.....	23
4.8.2.6. Biochar (biocarbón).....	24
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
5.1. Ubicación del área de trabajo	26
5.2. Materiales y equipo	27
5.3. Método	28
VI. PRESUPUESTO.....	37
VII.BIBLIOGRAFIA.....	38
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos en etapa de vivero, con especies de: <i>Swietenia macrophylla</i> (caoba del atlántico), <i>Cedrela odorata</i> (cedro amargo), <i>Cordia alliodora</i> (laurel), <i>Dalbergia spp.</i> (granadillo) y <i>Handroanthus chrysanthus</i> (cortez amarillo).	30
--	----

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de especies y sustratos en tubetes	30
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vivero Forestal de la Universidad Nacional de Agricultura en Catacamas, Olancho, Honduras.....	26
Figura 2. cronograma de actividades.....	36

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Propiedades físicas y químicas de las perlitas	44
Anexo 2. Propiedades físicas y químicas de las vermiculitas	45
Anexo 3. Formación de las turbas	46
Anexo 4. Propiedades de las turbas	47
Anexo 5. Propiedades del sustrato comercial.....	48
Anexo 6. Propiedades físico químicas del bocashi	49
Anexo 7. Macro y microelementos del bocashi	49
Anexo 8. Características físicas y químicas del biochar	50

I. INTRODUCCIÓN

Como una destacable oportunidad para promover la sostenibilidad ambiental y la gestión responsable de los recursos naturales, la Universidad Nacional de Agricultura, el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), y la empresa GeoForestal han concretado un importante acuerdo en colaboración con el Programa Nacional de Reforestación (PNR) para la ejecución del Programa de Restauración, Protección de Cuencas, Subcuencas Hidrográficas y Lechos de Ríos Padre Andrés Tamayo.

Este proyecto novedoso no solo refleja el compromiso compartido hacia la preservación del medio ambiente, sino que también se distingue por su moderna estructura y su enfoque eficaz para controlar las primeras etapas de los procesos de producción, germinación y el desarrollo de plántulas en etapa de vivero. Se observa la adopción de prácticas viables que desempeñan un papel esencial en la producción de especies, tanto locales como extranjeras.

Este proyecto también ha dado origen a un tema de investigación que propone la implementación de una tecnología innovadora y de visión a largo plazo en el ámbito silvícola. La investigación se enfoca en el proceso y desarrollo de cinco especies latifoliadas con mayor demanda en la región, utilizando tubetes plásticos en un umbráculo para brindar una protección óptima a las plantas en un entorno controlado. Con el objetivo de abordar de manera integral este enfoque, se evaluarán cuatro combinaciones de sustratos para analizar su influencia en la germinación, desarrollo y calidad de las plántulas en las etapas de vivero.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la propagación de 5 especies forestales, con varios sustratos y proporciones, durante la fase de umbráculo, utilizando tubetes

2.2 Objetivos específicos

- a. Determinar la germinación y la emergencia de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Dalbergia spp.* y *Handroanthus chrysanthus*, en las proporciones de sustrato, durante la etapa de umbráculo.
- b. Evaluar el desarrollo de las plántulas de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Dalbergia spp.* y *Handroanthus chrysanthus*, en las proporciones de sustrato, utilizando tubetes, en la etapa de umbráculo.
- c. Analizar los costos de los sustratos y proporciones, utilizados en la propagación de *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Dalbergia spp.* y *Handroanthus chrysanthus*, en tubetes, durante la etapa de umbráculo.

III. HIPOTESIS

3.1. Hipótesis de tubetes

a. **Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias significativas en la germinación y desarrollo de plántulas de las 6 especies latifoliadas en función del tipo de sustrato utilizado en los tubetes.

b. **Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias significativas en la germinación y desarrollo de plántulas de las 6 especies latifoliadas en función del tipo de sustrato utilizado en los tubetes.

3.2. Hipótesis de eficacia de sustratos

a. **Hipótesis nula (H0):** No hay diferencia significativa en el desarrollo de las plantas en las diversas combinaciones de los seis sustratos

b. **Hipótesis alternativa (H1):** Existe una diferencia significativa en el desarrollo de las plantas en al menos uno de los sustratos en comparación con los demás.

3.3. Hipótesis de costos

a. **Hipótesis nula (H0):** No hay diferencias significativas en los costos promedio de los 6 sustratos utilizados en este estudio.

b. **Hipótesis alternativa (H1):** Existen diferencias significativas en los costos promedio de los 6 sustratos utilizados en este estudio.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1. Producción de plantas forestales

La producción de plantas forestales es un proceso crucial en la gestión sostenible de los recursos naturales y la conservación del medio ambiente. Este proceso implica la propagación, cultivo y cuidado de plantas destinadas a la reforestación, restauración de ecosistemas y otros proyectos de conservación. Se busca no solo generar un número significativo de plantas, sino también garantizar su calidad y su adaptabilidad a los entornos específicos donde serán plantadas (Gregersen *et al.* 2015).

4.2. Uso de envases en la propagación de plantas forestales

El uso de envases desempeña un papel fundamental en la propagación de plantas forestales, especialmente durante las fases iniciales del proceso de producción. Estos envases, comúnmente conocidos como contenedores o macetas, son esenciales para proporcionar un ambiente controlado que favorezca el crecimiento saludable de las plántulas y que facilite su trasplante posterior al terreno definitivo (Domínguez 2000).

Según Martínez (2018), existen diversos tipos de envases utilizados en la propagación de plantas forestales, cada uno diseñado para cumplir funciones específicas que favorecen el desarrollo saludable de las plántulas. Algunos de los tipos de envases más comunes incluyen:

- **Macetas de plástico:** Son ampliamente utilizadas en viveros debido a su durabilidad, resistencia y facilidad de manejo. Están disponibles en varios tamaños y formas, lo que permite adaptarse a las especies y etapas de desarrollo de las plantas.

- **Bolsas de vivero:** Estas bolsas, comúnmente hechas de polietileno, son ligeras y flexibles. Son ideales para la producción a gran escala, ocupan menos espacio y son fáciles de almacenar y transportar.
- **Tubos y tubetes:** Estos envases alargados son eficaces para fomentar el desarrollo de raíces fibrosas. Los tubetes, generalmente hechos de plástico, permiten la extracción de la planta sin dañar las raíces al momento del trasplante.
- **Contenedores de fibra de coco o turba:** Fabricados a partir de materiales orgánicos, estos contenedores son biodegradables y favorecen un desarrollo radicular saludable. Son ideales para trasplantes directos al suelo, ya que se descomponen con el tiempo.
- **Alvéolos o bandejas de germinación:** Estas bandejas contienen alvéolos individuales que facilitan la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas. Son particularmente útiles para la producción masiva y permiten un manejo más eficiente.
- **Contenedores biodegradables:** Fabricados con materiales que se descomponen con el tiempo, estos contenedores son respetuosos con el medio ambiente y reducen el impacto en el momento del trasplante al suelo.
- **Macetas de papel o cartón:** Fabricadas con materiales reciclados, estas macetas son biodegradables y se descomponen fácilmente. Son adecuadas para el trasplante directo al suelo.

Igualmente, Martínez (2018), indica que el tipo de envase dependerá de varios factores, incluyendo el tipo de planta, el ciclo de vida, el método de propagación y los objetivos de producción. Cada tipo de envase tiene sus ventajas y desventajas, y la selección adecuada contribuye al éxito global del proceso de propagación y producción de plantas forestales.

4.2.1. Impacto ambiental de los envases

En el estudio de Sánchez (2016), se exploran opciones prácticas para envases utilizados en la producción sostenible de plantas.

- **Envases biodegradables:** Optar por envases fabricados con materiales biodegradables puede reducir la acumulación de residuos plásticos. Estos materiales se descomponen más rápidamente, contribuyendo menos a la contaminación.
- **Envases compostables:** Los envases compostables son otra opción sostenible. Pueden descomponerse en condiciones de compostaje y convertirse en nutrientes para el suelo en lugar de persistir como residuos.
- **Envases reutilizables:** Fomentar la reutilización de envases, especialmente en entornos de producción controlada como viveros, puede reducir la necesidad de fabricar nuevos envases y minimizar la generación de residuos.
- **Envases de materiales reciclados:** Utilizar materiales reciclados para la fabricación de envases contribuye a cerrar el ciclo de vida de los materiales y reduce la dependencia de recursos vírgenes.

La consideración de alternativas más sostenibles no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede mejorar la percepción de la industria forestal y contribuir a prácticas más responsables en la producción de plantas (Gutiérrez y Díaz 2018).

4.2.2. Tubetes

Los tubetes en plantas son recipientes utilizados en viveros para el cultivo y trasplante de plantas. Estos tubetes son generalmente de plástico y tienen forma cilíndrica, con agujeros en la base para el drenaje del agua. En este contexto, la planta se desarrolla suspendida sobre el suelo utilizando una malla ciclón o estructuras metálicas en forma de camas, de modo que se produce la poda de raíces por luz y aire (Darío *et al.* 2001).

Según Montúfar (2013), los tubetes ofrecen varios beneficios al utilizarlos en la germinación de plantas:

- a. **Mayor crecimiento de las plantas:** El adecuado llenado de los tubetes con sustrato apropiado permite un mejor crecimiento de las plantas, ya que proporciona un entorno favorable para el desarrollo de las raíces.
- b. **Menor costo:** El uso de tubetes puede resultar más económico en comparación con otros métodos de propagación, como el uso de bolsas.
- c. **Mayor eficiencia en el uso de espacio:** Los tubetes permiten un uso eficiente del espacio en los viveros, ya que se pueden colocar en bandejas o estantes, facilitando el manejo y la organización de las plántulas.
- d. **Facilidad de manejo:** Los tubetes son fáciles de manejar y transportar debido a su tamaño y diseño. Esto facilita las labores de trasplante y distribución de las plántulas.
- e. **Menor riesgo de enfermedades:** Los tubetes proporcionan un entorno más controlado y aislado para las plántulas, reduciendo el riesgo de enfermedades y plagas en comparación con otros métodos de propagación.
- f. **Reutilización:** Los tubetes se pueden reutilizar, reduciendo la generación de residuos y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

4.2.3. Estrías en los tubetes

Según Gastón (2018), la presencia de estrías en los tubetes para plantas desempeña un papel crucial al dirigir el crecimiento de las raíces hacia abajo, evitando enredos no deseados. Este diseño favorece el desarrollo de raíces fibrosas, facilita el proceso de trasplante y contribuye positivamente a la aireación y al drenaje del sustrato. Estas características combinadas promueven un ambiente propicio para el crecimiento saludable de las plantas.

4.3. Umbráculo

Un "umbráculo" es un lugar cubierto con material translúcido que protege las plantas de la intensidad solar y las condiciones climáticas extremas. Se utiliza en la jardinería y la agricultura para crear un ambiente controlado que favorece el crecimiento de plantas y cultivos, al permitir la circulación de aire y una iluminación difusa. Esto es especialmente útil en regiones con climas extremos y para alargar la temporada de cultivos (Rey 2020).

4.3.1. Tipos de umbráculo

Según Kost (2021), se identifican diversos tipos de umbráculos empleados con distintos propósitos.

a. Umbráculos de techo curvo:

Estos umbráculos tienen un diseño de techo curvo y se utilizan a menudo en áreas donde la estructura debe cumplir la función de invernadero y proporcionar sombra durante todo el año. Pueden presentar diseños en forma de túnel:

b. Umbráculos de techo plano:

Estos umbráculos tienen una estructura sencilla y fácil de montar, utilizando a menudo tela de sombra. Aunque suelen tener techo plano, en ocasiones presentan una ligera inclinación, especialmente en lugares con lluvias frecuentes o incluso algo de nieve.

4.3.2. Control ambiental de la estructura protegida (umbráculo)

El control ambiental en un umbráculo es crucial para establecer condiciones de crecimiento ideales para las plantas. Diversas técnicas se emplean con este fin. Es relevante destacar que estas técnicas pueden variar en función de las necesidades específicas de las plantas cultivadas y las condiciones climáticas locales. Por lo tanto, se recomienda realizar una investigación y adaptar las técnicas de control ambiental según las particularidades de cada cultivo y las condiciones del entorno (Martínez 2020).

Ejemplo:

a. Sombreado: El uso de un toldo de sombra en el umbráculo ayuda a controlar la cantidad de luz solar que llega a las plantas. Esto es especialmente importante en climas cálidos, donde la luz solar directa en exceso puede dañar las plantas. Además, el sombreado contribuye a regular la temperatura dentro del umbráculo.

- **Para plántulas y semillas germinadas:** En las fases iniciales, ciertas especies de plantas forestales pueden favorecerse con un rango de sombra entre el 30% y el 50%. Esto contribuye a resguardar las plántulas y semillas germinadas de la exposición directa al sol, al tiempo que facilita la retención de humedad.

- **Plantas jóvenes en crecimiento:** Conforme las plantas se desarrollan, se puede reducir gradualmente el porcentaje de sombra. No obstante, en muchas situaciones, mantener alrededor del 30% de sombra sigue siendo beneficioso para prevenir el estrés causado por la luz intensa y favorecer un crecimiento más uniforme.
- b. **Ventilación:** La ventilación adecuada es esencial para controlar la temperatura y la humedad dentro del umbráculo. Las ventanas de ventilación permiten regular el flujo de aire y evitar la acumulación de calor y humedad excesivos.
- c. **Riego y humedad:** El control del riego y la humedad es esencial para mantener un ambiente adecuado para el crecimiento de las plantas. Los sistemas de riego automatizados o la monitorización regular de la humedad del suelo pueden ayudar a mantener niveles óptimos de humedad.
- d. **Control de plagas y enfermedades:** Aunque el umbráculo proporciona un entorno protegido que puede ayudar a prevenir la entrada de plagas y enfermedades, es importante implementar medidas de control integrado de plagas y enfermedades para evitar problemas y mantener las plantas sanas.

4.3.3. Efectos de las condiciones de umbráculo en la germinación

Las condiciones del umbráculo, similares a las del vivero, pueden influir en la germinación de las semillas, especialmente en situaciones desafiantes. Es esencial tener en cuenta que factores específicos dentro del umbráculo, como la temperatura, la humedad y la iluminación, pueden ejercer un impacto directo en el proceso de germinación. Estas variables pueden ajustarse y controlarse para optimizar la germinación y fomentar un crecimiento saludable de las plántulas (Reyes 2008).

4.3.4. Factores fisiológicos que influyen en la germinación de semillas.

Según Raymon (2019), la germinación de semillas forestales está influenciada por factores clave:

- **Temperatura:** Las especies latifoliadas generalmente prosperan en un rango de temperatura que oscila entre 15 y 35 °C, aunque este intervalo puede variar según la especie. Cada planta posee un rango de temperatura óptima específico en el cual sus semillas germinan de manera más efectiva. Algunas semillas requieren condiciones más frías para superar la latencia y favorecer la germinación, mientras que otras prefieren temperaturas más cálidas.
- **Humedad:** La humedad es esencial para la germinación de las semillas, ya que permite la absorción de agua y activa los procesos metabólicos necesarios para el crecimiento de la plántula. Sin la humedad adecuada, las semillas pueden permanecer en estado de latencia o incluso morir. Porcentaje de humedad necesaria para semillas forestales es de 65-70%. Este rango de humedad es propicio para el desarrollo inicial de las semillas forestales y puede contribuir a su germinación y crecimiento saludable (Tane 2021).
- **Luz:** La luz puede tener un efecto significativo en la germinación de algunas especies. Algunas semillas requieren luz para germinar, mientras que otras necesitan oscuridad. Esto se debe a que la luz puede desencadenar respuestas hormonales que afectan la germinación.
- **Oxígeno:** Las semillas necesitan oxígeno para llevar a cabo la respiración y obtener energía durante la germinación. Un suministro adecuado de oxígeno en el suelo es esencial para el éxito de la germinación.

- **Tratamientos de escarificación:** Algunas semillas tienen capas duras o impermeables que deben romperse para permitir la entrada de agua y la
- **Germinación:** La escarificación es un proceso que simula los efectos naturales del ambiente, como el paso del tiempo, el calor o la acción del fuego, para romper estas capas y mejorar la germinación.

4.4. Especies latifoliadas

Una especie latifoliada se refiere a una planta que pertenece al grupo de las angiospermas y se caracteriza por tener hojas anchas y planas. Estas plantas son conocidas por su follaje amplio y diverso, que puede variar en forma, tamaño y textura (Loewe 2017).

Las especies latifoliadas, como *Swietenia macrophylla* (caoba), *Cedrela odorata* (cedro amargo) y *Cordia alliodora* (macuelizo), son ampliamente utilizadas en la industria forestal debido a su madera de alto valor y su importancia ecológica. Estas especies proporcionan una madera de calidad que se utiliza en la construcción, la fabricación de muebles, la producción de tableros y otros productos madereros. Además, estas plantas contribuyen a la biodiversidad y al equilibrio ecológico en los bosques (Donad 2010).

En términos más generales, Kelly (2023) comenta que cualquier árbol o planta que, debido a su estructura leñosa y fibrosa, habita la tierra y satisface las necesidades esenciales del ser humano y de ciertas especies animales.

4.5. Semillas latifoliadas

Las semillas latifoliadas son originarias de plantas que se caracterizan por tener hojas anchas y planas. Entre sus adaptaciones notables se encuentran las alas que algunas de estas semillas poseen. Estas estructuras alares les otorgan la capacidad de ser llevadas por el viento a distancias significativas. Este ingenioso mecanismo de dispersión aerodinámica desempeña un papel crucial en la colonización de nuevos territorios y contribuye de manera significativa a la supervivencia y éxito reproductivo de la especie (Ojeda 2013).

4.5.1. Calidad de las semillas

La calidad de las semillas, que incluye la viabilidad y el vigor, también puede influir en la germinación. Las semillas frescas y de alta calidad tienen una mayor probabilidad de germinar con éxito que las semillas viejas o dañadas (FAO 2019).

El vigor de las semillas latifoliadas se determina a través de la evaluación de varias propiedades que influyen en su capacidad de germinación y desempeño en diferentes ambientes. El vigor no es una propiedad individual, ya que describe varias características asociadas con el desempeño de las semillas en el crecimiento favorable de lotes de semillas (Mario R. *et al.* 2020).

4.5.2. Fisiología de las semillas latifoliadas

La fisiología de las semillas latifoliadas se refiere al estudio de los procesos biológicos y físicos que ocurren en las semillas de plantas de hojas anchas, también conocidas como angiospermas de hojas anchas. Las semillas se forman a partir del rudimento seminal, que se encuentra en el ovario de las flores después de la fecundación por los granos de polen. Este proceso se conoce como polinización (Megías *et al.* 2023).

Según Varela y Arana (2010), la fisiología de las semillas forestales abarca los procesos biológicos que ocurren desde la formación de la semilla hasta su germinación y establecimiento como una plántula. A continuación, se da una descripción general de las partes de las semillas forestales y algunos aspectos importantes de su fisiología.

- **Embrión:** El embrión es la parte vital de la semilla que contiene el tejido en desarrollo que eventualmente se convertirá en la planta. Incluye la radícula (la futura raíz), el hipocótilo (la conexión entre la radícula y el epicótilo) y el epicótilo (la futura parte aérea de la planta).
- **Reserva de almidón y proteínas:** Las semillas forestales almacenan nutrientes en forma de almidón y proteínas para proporcionar energía y materiales de construcción al embrión durante la germinación.
- **Testa o cubierta de la semilla:** La testa es la cubierta externa de la semilla que la protege. Puede ser dura o permeable, dependiendo de la especie, y su estructura puede influir en el proceso de germinación.
- **Hilo (hilum):** Es el punto de conexión de la semilla con la planta madre. A través de este punto, la semilla ha estado unida al ovario de la flor.
- **Micrópilo:** Es una abertura en la testa que permite la entrada de agua durante la absorción y también es por donde emerge la radícula durante la germinación.
- **Endospermo:** Algunas semillas contienen tejido de reserva adicional llamado endospermo, que también proporciona nutrientes al embrión durante la germinación.

- **Cambio en el estado fisiológico:** Las semillas forestales pasan por un proceso llamado maduración fisiológica, donde alcanzan un estado de desarrollo adecuado para la germinación.
- **Dispersión:** Muchas especies de plantas forestales han desarrollado mecanismos de dispersión de semillas para asegurar la distribución eficiente de las semillas en el entorno. Pueden ser dispersadas por el viento, el agua, animales, o incluso explosiones.
- **Germinación:** Es el proceso mediante el cual la semilla comienza a desarrollar un embrión en una planta, incluye la absorción de agua, la activación de enzimas y el crecimiento de la radícula y el epicótilo.
- **Establecimiento de la Plántula:** Después de la germinación, la plántula se establece y comienza a desarrollarse utilizando los nutrientes almacenados en la semilla, absorbiendo nutrientes del suelo circundante.

4.6. Especies forestales de interés en Honduras

Honduras alberga una variedad de especies forestales de gran importancia, entre las que se incluyen el pino caribe, caoba, cedro real, pino ocote, guayacán, roble, laurel y caoba blanca. Estas especies son valoradas por su utilidad en la producción de madera, pulpa y papel, así como en la fabricación de muebles y carpintería (FHIA 2014).

En el estudio de Dubón (2010), realizado por la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), se destaca la importancia de especies como el laurel (*Cordia alliodora*) y el cedro (*Cedrela odorata*) en el sector agrícola. Estas especies han sido especialmente valoradas en combinación con sistemas agrosilvopastoriles para el cultivo de cacao. La gestión sostenible de estos recursos es esencial para preservar la biodiversidad y garantizar un uso a largo plazo. Además, el cumplimiento de las leyes y regulaciones forestales es crucial para la conservación y el manejo adecuado de los bosques en Honduras (Del Cid 2003).

4.6.1. Estado actual de las especies forestales en Honduras

Desde la década de 1920, Honduras ha implementado proyectos para estudiar, conservar y aprovechar sus especies forestales, estableciendo las primeras plantaciones con teca y melina. Se enfocan en el manejo de bosques secos y el estudio de cuarenta especies maderables en bosques tropicales húmedos. Destaca la conservación y mejora genética de especies clave, junto con el reconocimiento del potencial económico del sector forestal para el desarrollo sostenible. La estrategia incluye fomentar plantaciones en lugar de deforestación, para preservar biodiversidad y fuentes de agua (Gregersen *et al.* 2015).

4.7. Caoba del Atlántico (*Swietenia macrophylla*)

La caoba del atlántico (*Swietenia macrophylla*) es un árbol nativo de las selvas de América Central, con presencia destacada en áreas de México, Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua. Su hábitat natural abarca regiones con climas cálidos y secos, y suele encontrarse en bosques tropicales caducifolios y deciduos, adaptándose a las condiciones específicas de su entorno. Pertenecce a la familia Meliaceae y es una de las tres especies del género *Swietenia* (CATIE 2019).

4.7.1. Importancia económica caoba del pacifico (*Swietenia macrophylla*)

La caoba del atlántico (*Swietenia macrophylla*) destaca por su significativa relevancia económica, impulsada por diversos factores. Su madera de gran belleza se utiliza extensamente en construcción, pisos, muebles finos y artesanías. A pesar de su crecimiento lento, se considera un valioso recurso forestal en climas secos. La sobreexplotación de su madera de alta calidad la convierte en un recurso comercial destacado, especialmente en la fabricación de muebles. Además, las semillas de la caoba contienen aceites esenciales que pueden aplicarse en la industria cosmética, ampliando su potencial uso en diversos sectores industriales y comerciales (Campos *et al.* 2009).

4.7.2. Protección y conservación de las *Swietenia macrophylla*

La *Swietenia macrophylla* es una especie amenazada debido a la fragmentación de su hábitat, causada por la deforestación y los cambios en el uso del suelo. A pesar de haber experimentado talas sin control, todavía existen ejemplares en ciertas áreas, aunque son una excepción (Aguilera 2001).

4.7.3. Cedro amargo (*Cedrela odorata*)

Cedrela odorata, conocida también como cedro español o cedro, es una especie de árbol nativo de las regiones tropicales de las Américas. Se valora por su madera de alta calidad, que se utiliza en la fabricación de muebles (López *et al.* 2020).

4.7.4. Importancia económica cedro amargo (*Cedrela odorata*)

El cedro amargo (*Cedrela odorata*) es un árbol de gran importancia económica. Esta madera liviana, duradera y fácil de trabajar se utiliza en la fabricación de muebles, carpintería, construcción y elementos estructurales. Además, el Cedro emite un aroma agradable, lo que lo hace deseable en la producción de gabinetes y cajas de almacenamiento para proteger la ropa. 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)

4.7.5. Laurel (*Cordia alliodora*)

Cordia alliodora, conocida como laurel de costa o cedro espino, es una especie de árbol que se encuentra en América Central y del Sur. Se caracteriza por su rápido crecimiento y su madera de alta calidad, que se utiliza en la construcción y fabricación de muebles (UNA 2021).

4.7.6. Importancia economica laurel (*Cordia alliodora*)

El Laurel (*Cordia alliodora*) es una madera valiosa debido a su textura fina, alto brillo y versatilidad. Se utiliza en la fabricación de muebles, puertas, pisos y diversos elementos. Además, se ha empleado en sistemas agrosilvopastoriles con cultivos como café, cacao y coco, así como en temporales con plátano, y yuca, demostrando su utilidad en diferentes aplicaciones. Su versatilidad lo convierte en una opción valiosa en el ámbito económico y ambiental (Briceño *et al.* 2016).

4.7.7. Granadillo (*Dalbergia spp*)

Dalbergia es un género de árboles de la familia de las leguminosas (Fabaceae) que incluye varias especies conocidas por su madera valiosa. La especie más conocida de este género es *Dalbergia nigra*, también conocida como palisandro brasileño, que es muy apreciada por su uso en instrumentos musicales. Otras especies en el género *Dalbergia*, como *Dalbergia latifolia* (palisandro indio) y *Dalbergia sissoo* (palisandro indio), también se utilizan por su madera (Knoblauch 2001).

4.7.8. Importancia económica granadillo (*Dalbergia spp.*)

El granadillo (*Dalbergia spp*) destaca por su importancia económica en el comercio internacional de muebles, siendo demandado por su madera de alta calidad, dureza y densidad. Es conocido como granadillo africano o granadilla y su uso está controlado debido a su estado de conservación crítico, catalogado como en peligro crítico. A pesar de su comercio creciente, existe preocupación por la extracción ilegal, especialmente en el caso de *Dalbergia granadillo*, lo que resalta la necesidad de regulaciones estrictas para su conservación a largo plazo (Aguilar 2014).

4.7.9. Cortez amarillo (*Handroanthus chrysanthus*)

Handroanthus chrysanthus, también conocido como roble amarillo o lapacho amarillo, es una especie de árbol nativo de América Central y del Sur. Se caracteriza por sus llamativas flores amarillas y a menudo se planta como árbol ornamental (Aguilera 2001).

Handroanthus chrysanthus es un árbol nativo de los bosques secos de la zona intertropical americana y se encuentra distribuido en países como México, Perú y Trinidad. Algunas características de esta especie incluyen una altura máxima de 35 metros y un diámetro de hasta 100 centímetros. Sus hojas son caducifolias, compuestas por 5 a 7 foliolos de margen entero o aserrado. Además, sus flores son campanuladas y vistosas, midiendo de 5 a 7 centímetros de largo (Montiel 2020).

4.7.10. Importancia económica del Cortez amarillo (*Handroanthus chrysanthus*)

La importancia económica del Cortez amarillo (*Handroanthus chrysanthus*), también conocido como guayacán, radica en su origen en las selvas tropicales de América. Aunque no es ampliamente utilizado en plantaciones, destaca por su relevancia como árbol ornamental debido a su vistosa floración amarilla, siendo popular en jardines y calles. Además, su madera resistente se emplea en la industria para pisos y carroceras. A pesar de estar sobreexplotado, su presencia en áreas degradadas resalta su capacidad de regeneración (Aguirre *et al.* 2017).

4.8. Sustratos

Un sustrato se define como cualquier material sólido o medio físico que difiere del suelo y puede ser de origen natural, artificial o residual, ya sea de naturaleza mineral u orgánica. Este material se introduce en un recipiente, contenedor o suelo, ya sea en su forma pura o como parte de una mezcla, con el propósito de proporcionar el anclaje necesario para el sistema radicular de las plantas (Luz *et al.* 2019).

Según Pérez (2017), el sustrato genera condiciones óptimas que facilitan la eficiente absorción de nutrientes por parte de las raíces, cumpliendo simultáneamente su función de sostén para mantener la planta en posición vertical.

4.8.1. Importancia de la elección del sustrato en la germinación y desarrollo de plántulas

La importancia de la elección del sustrato en la germinación y desarrollo de plántulas es crucial para la producción exitosa de plantas en vivero. Se requiere una cuidadosa selección del sustrato en el que se propagarán y crecerán las plantas. La elección adecuada de los componentes del sustrato, la proporción volumétrica de cada uno de ellos y las enmiendas adicionadas al sustrato son factores clave para lograr una producción exitosa de cada especie en particular (Soto 2020).

4.8.2. Características que tiene que tener un sustrato

Un sustrato adecuado para semillas latifoliadas debe tener ciertas características que proporcionen un entorno propicio para la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas (Pierre *et al.* 2009)

Estas características incluyen:

- a. **Retención de agua y disponibilidad:** El sustrato debe tener la capacidad de retener agua y hacerla fácilmente disponible para las raíces de las plántulas.
- b. **Suministro de aire:** Es importante que el sustrato proporcione un buen suministro de aire a las raíces de las plántulas para evitar la asfixia y promover un crecimiento saludable.
- c. **Distribución del tamaño de las partículas:** El sustrato debe tener una distribución adecuada del tamaño de las partículas para permitir un buen drenaje y evitar la compactación.
- d. **Baja densidad aparente:** Un sustrato con baja densidad aparente facilita el desarrollo de las raíces y permite un buen intercambio de gases en el suelo.

4.8.2.1. Sustrato perlita

La perlita es un material de origen volcánico que se expande mediante un proceso de calentamiento a temperaturas que oscilan entre 1.000 y 1.200 °C. Químicamente, la perlita está compuesta principalmente por sílice, junto con óxidos de aluminio, hierro, calcio, magnesio y sodio. La granulometría de la perlita procesada es muy variable, y sus propiedades físicas varían de acuerdo con los porcentajes de cada uno de los rangos de tamaños considerados (Guerrero 2022).

4.8.2.2. Sustrato vermiculita

La vermiculita es un mineral formado por silicatos de aluminio, hierro y magnesio que se extrae en minas a cielo abierto. La característica distintiva de la vermiculita es su capacidad para exfoliarse cuando se calienta. Este proceso de exfoliación puede aumentar su volumen original hasta en 8 veces, transformando los densos copos minerales en ligeros gránulos porosos que contienen numerosas capas de aire (Acosta 2023).

4.8.2.3. Sustrato turba báltica

La turba es un material orgánico constituido por elementos procedentes de la descomposición de vegetales. Es uno de los materiales más utilizados como sustrato, tanto en jardinería como en agricultura. Todos hemos oído hablar alguna vez de este tipo de sustrato, tan empleado en jardines, huertos y cultivos (Bracho 2009).

4.8.2.4. Sustrato comercial®

El sustrato comercial® es un sustrato de alta calidad que ofrece diferentes opciones para distintos tipos de plantas y usos la especialidad de este es que está formado por diferentes elementos.

Zolezzi (2012) sugiere que la combinación equilibrada de elementos en la composición de ciertos sustratos puede ofrecer una opción integral, incorporando retención de agua, aireación y drenajes eficientes. Además, proporciona nutrientes iniciales, convirtiéndolo en una elección apropiada para el trasplante y el desarrollo inicial de las plantas.

La formulación de este sustrato comercial implica la combinación de los siguientes elementos en su composición:

- **Alto contenido en turba rubia:** La turba rubia es conocida por su capacidad para retener agua y nutrientes, creando un ambiente favorable para el desarrollo de las raíces de las plantas.
- **30% de fibra de madera:** La fibra de madera puede aportar estructura al sustrato, mejorando la aireación y evitando la compactación. El término "Forest Gold" sugiere una alta calidad de fibra de madera.
- **Arena lavada para un mejor drenaje:** La arena contribuye a mejorar el drenaje del sustrato, evitando el encharcamiento y promoviendo un ambiente radicular bien ventilado.
- **Contiene nutrientes para aproximadamente 4 semanas:** La presencia de nutrientes en el sustrato proporciona a las plantas los elementos esenciales durante las primeras semanas después del trasplante, lo que puede ser beneficioso para un inicio saludable.

4.8.2.5. Sustrato bocashi

Este abono orgánico, rico en nutrientes, es esencial para el desarrollo de los cultivos y se obtiene mediante la fermentación de materiales secos que se mezclan adecuadamente. Los nutrientes resultantes de esta fermentación incluyen tanto elementos mayores como menores, lo que lo convierte en un abono completo y de mayor calidad en comparación con las fórmulas de fertilizantes químicos (FAO 2011).

4.8.2.6. Biochar (biocarbón)

Según Pentón Fernández (2021), el biochar se origina a través de un proceso conocido como pirólisis, que implica la descomposición térmica de materiales orgánicos en ambientes con escasa presencia de oxígeno. Durante este proceso, diversos tipos de biomasa, como residuos agrícolas, madera y otros restos orgánicos, son sometidos a altas temperaturas, lo que resulta en la formación de un material carbonáceo sólido con características únicas. Esta transformación confiere al biochar propiedades especiales, incluyendo una estructura porosa que ofrece una amplia área superficial, lo que puede ser beneficioso en aplicaciones agrícolas y ambientales.

Este carbón vegetal tiene diversas aplicaciones, desde mejorar la estructura y la fertilidad del suelo hasta contribuir a la mitigación del cambio climático al actuar como un sumidero de carbono. Su capacidad para adsorber contaminantes y mejorar la retención de agua y nutrientes en el suelo también lo convierte en una herramienta valiosa en prácticas agrícolas sostenibles y en la gestión ambiental. En resumen, el biochar se destaca como un recurso versátil con potenciales beneficios tanto para la agricultura como para la sostenibilidad ambiental (Olmo, 2016).

4.8.2.6.1. Características físico-químicas del biocarbón

Su estructura depende del tipo y tiempo de la pirólisis que se llevó a cabo. Los análisis de microscopio electrónico de barrido han mostrado que es amorfo y está constituido por partículas de varios tamaños, lo cual también depende de la materia prima utilizada. Además, este material posee una alta porosidad con micro, meso y macroporos, los cuales tienen tamaños de menos de 2 nm, 2-50 nm y más de 50 nm, respectivamente. Esto hace que se asemeje a un "arrecife subterráneo" y pueda ser hábitat para microorganismos (Rebolledo *et al.* 2016).

Gracias a sus propiedades, el biochar facilita la absorción y retención de nutrientes y microorganismos en el suelo, estimulando así la actividad microbiana. Además de su capacidad para mejorar la retención de nutrientes y la actividad microbiana, el biochar también presenta el potencial de contribuir a la mitigación del cambio climático al absorber carbono de la atmósfera. Más allá de estos beneficios, el biochar puede tener un impacto positivo en la gestión ambiental, abordando aspectos como la degradación de contaminantes en el suelo, la valorización de residuos y la generación de energía (Dreiskel 2021).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación del área de trabajo

Este trabajo se llevará a cabo en el vivero forestal, el cual se encuentra ubicado geográficamente en Catacamas, Olancho, en el campus de la Universidad Nacional de Agricultura. El vivero forestal tiene una latitud de 14.833281 y una longitud de -85.847440, con una altitud de 357 m sobre el nivel del mar. Este espacio está destinado para la producción de plántulas forestales y también para laboratorios de campo (Figura 1).

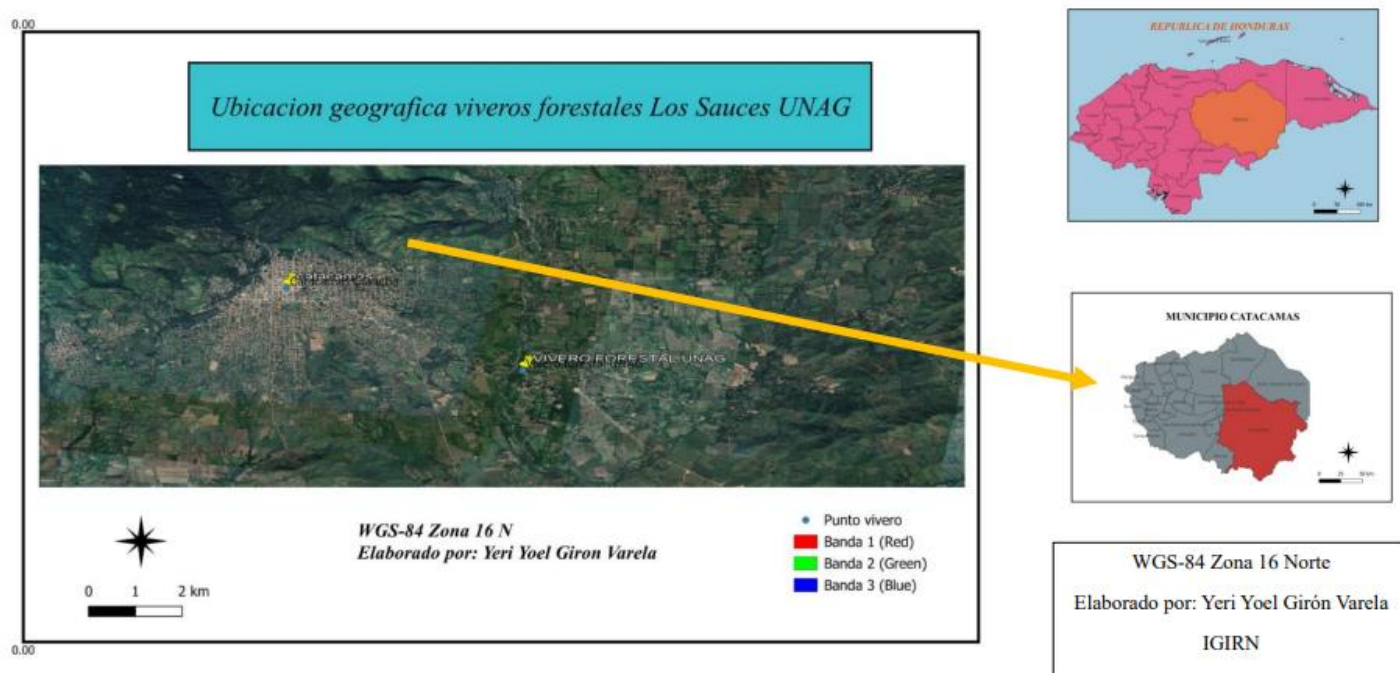


Figura 1. Vivero Forestal de la Universidad Nacional de Agricultura en Catacamas, Olancho, Honduras.

5.2. Materiales y equipo

En la primera fase del proyecto, se llevará a cabo la construcción de la estructura del umbráculo, abordando diversas evaluaciones que incluyen nivelaciones del terreno y pruebas de suelo. Como segunda tarea en esta fase, se determinará la cantidad necesaria de tubetes para el experimento que involucra a las especies forestales. En la tercera tarea de esta fase, se llevará a cabo la obtención de los sustratos necesarios para efectuar las combinaciones planificadas. Algunos de estos sustratos se adquirirán a través de fuentes comerciales, mientras que otros se producirán internamente en las instalaciones del Campus de la Universidad Nacional de Agricultura (UNAG), utilizando materiales disponibles en el lugar.

En la segunda fase del proyecto, se procederá a la adquisición de las especies forestales seleccionadas, entre las cuales se incluyen *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro amargo), *Cordia alliodora* (laurel), *Dalbergia spp* (granadillo) y *Handroanthus chrysanthus* (cortez amarillo). Este proceso implica la obtención de semillas saludables y adecuadas para el experimento.

Adicionalmente, se incorporarán herramientas esenciales como rotuladores y marcadores. Estos instrumentos desempeñarán un papel crucial para identificar y distinguir los diferentes diseños experimentales, así como para etiquetar adecuadamente cada especie y los tratamientos específicos de sustratos que se aplicarán. La correcta identificación facilitará el seguimiento y análisis posterior de los resultados, asegurando la precisión y confiabilidad de la información recopilada durante la fase experimental.

En las fases 3 y 4 del proyecto, se llevará a cabo la recopilación de datos e información mediante diversas herramientas de medición, como reglas, cintas métricas, e igualmente para la medición de variables se estarán utilizando elementos de laboratorio. Los datos obtenidos se registrarán cuidadosamente y serán tabulados utilizando aplicaciones informáticas como PowerPoint®, Excel®, Canva® y Word®. Además, se utilizarán herramientas especializadas como InfoStat® para realizar análisis más detallados y representaciones gráficas, garantizando así una recopilación precisa y una gestión eficiente de la información recabada durante estas etapas del proyecto.

5.3. Método

El lugar donde se ejecutará el estudio es el vivero Sauces de la Universidad Nacional de Agricultura. La metodología utilizada es de carácter cuantitativo.

5.3.1. Diseño experimental

Para esta primera etapa de la investigación, se empleará un diseño completamente aleatorizado (DCA), en el cual se desarrollarán cinco experimentos individuales correspondientes a cada una de las especies forestales: *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro amargo), *Cordia alliodora* (laurel), *Dalbergia spp.* (granadillo) y *Handroanthus chrysanthus* (cortez amarillo).

Igualmente, en esta primera etapa del experimento, se implementarán cuatro tratamientos designados como: T1: 40% Bocashi, 30% biocarbón, 30% Suelo; T2: 70% Turba, 30% Suelo; T3: 70% Turba Báltica, 15% Vermiculita, 15% Perlita, 25% Aserrín descompuesto, 5% fertilizante; y T4 será un sustrato estándar sin modificaciones (Suelo). Esta etapa se centrará en la germinación de estas semillas, considerando diversas combinaciones de sustratos.

Cada uno de los experimentos individuales se estructurará con tres réplicas, conformando así un sistema de 3x4, lo que equivale a un total de 12 grupos de tratamiento y en cada uno de estos, se utilizarán 50 semillas distribuidas en grupos de prueba.

En la segunda etapa del proyecto, se aplicarán las mismas especies: *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *cedrela odorata* (cedro amargo), *cordia alliodora* (laurel), *Dalbergia spp.* (granadillo) y *Handroanthus chrysanthus* (cortez amarillo), en Combinación con tres tratamientos de sustratos: T1: 40% Bocashi, 30% biocarbón, 30% Suelo; T2 Sustrato: 70% Turba, 30% Suelo; y T3: 70% Turba Báltica, 15% Vermiculita, 15% Perlita, 25% Aserrín descompuesto, 5% fertilizante. Cada uno de los experimentos individuales estará compuesto por tres repeticiones, conformando un sistema de 3x3, donde se utilizarán 9 grupos de prueba los cuales se trasplantarán a tubetes.

Antes de llevar a cabo el llenado y trasplante de los tubetes con las nuevas plántulas, se realizará un proceso previo de desinfección de los tubetes y del área donde se realizarán las mezclas de sustratos. Este procedimiento incluirá el uso de productos como detergente, cloro y algún fungicida con el objetivo de prevenir la contaminación en las plantas trasplantadas en los tubetes. Posteriormente, se seleccionarán 10 plántulas por cada especie como unidades experimentales para la evaluación de las variables correspondientes en el estudio.

Se llevará a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de evaluar la calidad de las mezclas de sustratos y su influencia en el proceso de germinación y desarrollo de las plantas, utilizando los datos recopilados durante estos experimentos.

5.3.2. Distribución de los sustratos en tubetes

Cuadro 1. Distribución de especies y sustratos en tubetes

Experimentos	Especies	Sustratos		
1	<i>Swietenia humilis</i>	T1	T2	T3
2	<i>Cedrela odorata</i>			
3	<i>Cordia alliodora</i>			
4	<i>Dalbergia spp</i>			
5	<i>Handroanthus chrysanthus</i>			

5.3.3. Descripción de los tratamientos

Tabla 1. Descripción de los tratamientos en etapa de vivero, con especies de: *Swietenia macrophylla* (caoba del atlántico), *Cedrela odorata* (cedro amargo), *Cordia alliodora* (laurel), *Dalbergia spp* (granadillo) y *Handroanthus chrysanthus* (cortez amarillo).

Tratamientos	Descripción
T1	Sustrato: 40% Bocashi, 30 % biocarbon, 30 % Suelo
T2	Sustrato: 70 % Turba, 30 % Suelo
T3	Sustrato ICF: 70 % Turba Baltica, 15 % Vermiculita, 15 % Perlita, 25 % Aserrin descompuesto, 5 % fertilizante
T4	Testigo: 100 % Suelo sin modificaciones

El T3 presenta una composición inicial con un 70% de Turba Báltica, 15% de Vermiculita y otro 15% para totalizar el 100%. Después de esta fase, se realiza una modificación en la mezcla, volviéndola a ajustar al 70%. Durante este ajuste, se incorpora un 25% de aserrín descompuesto y un 5% de fertilizante. Este proceso da como resultado una combinación mejorada de sustrato, manteniendo la proporción total al 100%. La inclusión de aserrín descompuesto y fertilizante busca mejorar las propiedades del sustrato para favorecer el desarrollo y la germinación de las plantas en el experimento.

5.4. Variables a evaluar

a. Porcentaje de germinación: para medición de esta variable requerirá la recopilación de datos sobre el número total de semillas sembradas por bloque experimental y el total de semillas germinadas. Posteriormente, aplicaremos la siguiente fórmula utilizando los datos recolectados para determinar el porcentaje de germinación en relación con la cantidad inicial de semillas sembradas en cada bloque:

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

Esta fórmula nos permitirá obtener un valor porcentual que refleja la proporción de semillas que han germinado con respecto al total sembrado en cada bloque experimental. Este proceso proporcionará una medida cuantitativa de la tasa de éxito de la germinación en cada uno de los bloques experimentales analizados.

b. Altura de la planta (cm): En el procedimiento de medición de la altura de las plantas, se elegirán al azar 10 plantas en tubetes para cada repetición. Con el uso de una regla graduada de longitud adecuada, cada planta será posicionada verticalmente. Se establecerá de manera clara el punto de inicio de la medición, que se ubica desde el cuello de la raíz. Se utilizará la regla para medir verticalmente hasta el último brote apical de la planta, siguiendo la dirección del crecimiento principal.

Se registrarán estas mediciones para cada planta en una hoja de registro. Se repetirá este proceso para todas las repeticiones del experimento. Posteriormente, los datos se utilizarán para el análisis estadístico.

c. Número de hojas: En el proceso de medición del número de hojas, se seleccionarán aleatoriamente 10 plantas por repetición. Se contarán cuidadosamente las hojas de cada planta, comenzando desde la base y asegurándose de incluir todas las hojas completamente desarrolladas. Los datos se registrarán de manera organizada, especificando la planta y la repetición correspondiente, en una hoja de registro.

Este procedimiento se repetirá para todas las repeticiones, asegurando consistencia en el método de medición. Este enfoque proporcionará datos precisos sobre el número de hojas por planta, contribuyendo a la evaluación.

d. Veltez: Utilizando las 10 plántulas designadas como unidades experimentales y empleando las variables previamente mencionadas (altura y número de hojas), se lleva a cabo un estudio para evaluar la velocidad de crecimiento de las plántulas. Durante el período de observación y recopilación de datos, se efectúan mediciones periódicas para registrar los cambios en las características mencionadas. El objetivo es calcular la velocidad de crecimiento de las plantulas a lo largo del tiempo, proporcionando así información detallada sobre su desarrollo durante el período de estudio en la cual se estará utilizando la fórmula de velocidad:

$$Velocidad = \frac{\textit{Cambios en mediciones}}{\textit{tiempo transcurrido}}$$

e. Lignificación: En esta variable de la lignificación es para entender el desarrollo de lignina en los tejidos leñosos de las plantas, se seleccionarán cuidadosamente muestras representativas de las plantulas experimentales. Mediante muestreos periódicos y análisis de lignina a lo largo del tiempo mediante métodos de laboratorio, se examina la variación en los niveles de lignificación entre diferentes especies forestales. Este enfoque permite obtener información crucial sobre la composición de la pared celular y la resistencia estructural de las plantas en la etapa de vivero.

f. Condición Sanitaria: En el estudio de la variable sanitaria en plántulas, se escogerán las 10 plantas como unidades experimentales, se harán observaciones visuales periódicas, se registran detalladamente los síntomas de posibles enfermedades o problemas de salud, como deformidades y cambios en el color de las hojas. Este enfoque proporciona una evaluación continua de la salud de las plantas a lo largo del tiempo. Además, se contempla la posibilidad de implementar tratamientos específicos, cuando sea necesario, para mejorar la salud de las plantas afectadas y se analiza cómo responden a estas intervenciones. Este abordaje integral permite comprender la influencia de la variable sanitaria en el desarrollo y la salud general de las plantas en el umbráculo.

g. Raíz: Para medir tanto la longitud como la densidad del sistema radicular, se llevará a cabo la exposición de las raíces de las plántulas seleccionadas. Posteriormente, se procederá a medir con precisión su longitud mediante una regla graduada.

h. Medición de la variable de raíz húmeda y raíz seca

- **Para la raíz húmeda:** con las raíces de la variable anterior, se retirará el exceso de agua o material de sustrato adherido a la raíz. Luego, se medirá el peso total de las raíces sin ningún proceso de secación.

- **Para la raíz seca:** Las raíces extraídas anteriormente se colocarán en un ambiente desecado controlado para eliminar toda la humedad. Y una vez que las raíces están completamente secas, se medirá su peso seco.

Para luego utilizar la de fórmula de raíz seca y raíz húmeda para determinar la cantidad de agua presente en las raíces y entender el rendimiento de las plantas:

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

i. **Costos económicos:** El análisis de costos para el proyecto se centrará en revisar detalladamente las facturas asociadas. Se llevará a cabo una organización de todas las facturas, generando un registro con información esencial como fechas, proveedores, descripciones, cantidades, precios unitarios y costos totales. La suma de estos costos proporcionará una visión integral de la inversión realizada en el proyecto. Con el objetivo de presentar los resultados de manera clara y efectiva, se desarrollará una hoja de cálculo que contendrá los datos recopilados, complementada con visualizaciones gráficas. Este proceso facilitará una evaluación exhaustiva de la gestión financiera del proyecto.

5.5. Modelo estadístico

En este diseño experimental, se investigará el impacto de cuatro tipos de sustratos, cinco especies de plantas latifoliadas y tamaños de tubetes en una variable específica de interés.

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + L_j + T_k + (SL)_{ij} + (ST)_{ik} + (LT)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- μ es la media general.
- S_i es el efecto del i -ésimo tipo de sustrato.
- L_j es el efecto de la j -ésima especie de latifoliada.
- T_k es el efecto del k -ésimo tubete.
- $(SL)_{ij}$ es la interacción entre el tipo de sustrato i y la especie de latifoliada j .
- $(ST)_{ik}$ es la interacción entre el tipo de sustrato i y el tubete k .
- $(LT)_{jk}$ es la interacción entre la especie de latifoliada j y el tubete k .
- ε_{ijk} es el término de error experimental que captura la variabilidad no explicada en el modelo.

5.6. Cronograma de actividades

Figura 2. Cronograma de actividades

Actividades	Mes	oct-23				nov-23				dic-23				ene-24				feb-24				mar-24				abr-24				may-24				jun-24				
	Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Planificación y Diseño		x	x	x	x	x	x	x	x							x	x	x																				
Selección de materiales		x	x	x	x	x	x	x	x							x	x	x																				
Preparación del Terreno																x	x	x	x	x																		
Traslado de túneles																x	x	x	x	x																		
Construcción de la Estructura															x	x	x	x	x	x	x																	
Mantenimiento del vivero																x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
Equipamiento																	x	x	x	x	x	x	x	x	x													
Preparacion de sustrato																	x	x	x	x	x																	
Germinación de Plantas																						x	x	x	x	x	x											
Siembra																										x	x	x	x									
Riego																						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Actividades extras																x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Control del ambiente																						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x						
Informe final																							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

VI. PRESUPUESTO

Cuadro 7. Presupuesto

Categoría	Descripción detallada	Cantidad	Costo unitario lps	subtotal
Semillas	Semillas compradas a Semillas Tropicales	6 paquetes	1430	1430
sustratos	Perlita	20 lbs	55	1100
	comercial®	240lbs	1500	3000
Insumos	Carpa de nylon	15 yd	8	120
	tachuelas	1 caja	20	20
	Paletas de madera	1 paq.	20	20
	Casulla de arroz	200lb	100	100
	Melaza	12lb	5	60
Materiales	Cuter	1 unidad	20	20
	Marcador permanente	1 unidad	30	30
Costos de desplazamiento	Transporte (capacitación Tegucigalpa)	2 pasajes	440	440
Alimentación	Alimentación durante el viaje	3tiempos	500	500
Sub total				6,840 lps

VII. BIBLIOGRAFIA

- Cruz, S; Rafael. A. 2017. Caoba *Swietenia macrophylla* Instituto Nacional de Bosques. Caoba *Swietenia macrophylla*; paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB. s.p.
- Palacios, E. 2006. Ficha técnica *Tabebuia Chrysantha*. Cuarenta y ocho especies de la flora. Instituto de historia y flora natural y ecología. México D.F. 2.p.
- Briceño-J, A., Rangel-Ch, J. Bogino, S. 2016. Estudio de los anillos de crecimiento de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken en Colombia. Colombia Forestal, Universidad Distrital Francisco José de Caldas Colombia. p 95.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2009. Estandarización de técnicas para el manejo de semillas de *Swietenia macrophylla* y *Cordia alliodora*. 4 p.
- Ecología verde. 2023. Vermiculita: qué es, usos y cómo hacerla. Disponible en Ecología verde España: <https://www.ecologiaverde.com/vermiculita-que-es-usos-y-como-hacerla-2219.html>
- Birgit, Knoblauch. 2001. Estudio ecológico, silvícola y de utilización del Granadillo (*Dalbergia tucurensis* J.D. Smith) en bosques latifoliados de Honduras. Ingeniero Agrónomo en el Grado Académico de Licenciatura. ZAMORANO. 2 p.
- Dreiskel Biodinámica. 2021. El biocarbón Biochar, una de las mejores estrategias de fertilización de suelos. Disponible en: Dreiskel España: <https://www.dreiskel.com/biocarbon-biochar/>
- Francisca Guerrero; A. Polo. s.f. Usos, aplicaciones y evaluación de turbas [10] 1-5.
- Manfrini; D. 2004. Aspectos a tener en cuenta análisis de vigor en semillas. Instituto Nacional de Semillas Paraguay. INASE. 56 p.
- García -Fernández, O; Sánchez -Sánchez. 2024. EL LUJO DE LA MUERTE (El cedro en peligro). Universidad Veracruzana. Mexico. 1 p.

- Cauja Guerrero, ER. 2022. Evaluación de la germinación de semillas de aliso (*Alnus acuminata*) en tres sustratos y dos procesos pregerminativos en el vivero de la esoch. Ingeniero forestal Riobamba – Ecuador. Escuela superior politécnica de chimborazo facultad de recursos naturales carrera ingeniería forestal. 17 p.
- Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., Etchevers Barra, J. D. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Terra Latinoamericana, 34(3), 368–379.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2011. Programa especial para la seguridad alimentaria en el Salvador. Elaboración y uso del bocashi. 2 p.
- FHIA 2014 (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). Establecimiento de especies forestales latifoliadas en linderos. Carta informativa trimestral de la dirección general. Honduras. 3 p.
- Rojas-Rodríguez, F; Torres-Córdoba, G. 2013. Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción Cedro amargo (*Cedrela odorata* L.). Revista Forestal Mesoamericana Kurú 11(26): 25 – 27. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v11i26.1593>
- Perlindustria. 2020. Ficha Técnica Perlita V-13. Disponible en: Perlindustria Vallirana, Barcelona <https://perlindustria.com/pdf/es/PerlitaV13.pdf>
- Perlindustria. 2020. Ficha Técnica Vermiculita V2 DA. Disponible en: Perlindustria Vallirana, Barcelona <https://perlindustria.com/pdf/es/VermiculitaV2.pdf>
- Bracho, J; Pierre, F; Quiroz, A. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. Lara, Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Guárico. Venezuela.s.p.
- DR. sistemas invernaderos. 2020. Qué son los umbráculos, sus características y ventajas. Disponible en: <https://www.sistemasdr.es/invernaderos/que-son-los-umbraculos-sus-caracteristicas-y-ventajas/>

- Gregersen, H; Arnold, J Contreras, H; A. 2015. Análisis de impactos de proyectos forestales. Problemas y estrategias. Roma, Italia: FAO. Disponible en: <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/5133> s.p.
- Rojas GE; Díaz- Zúñiga, EJ. 2018. Implementación de un vivero de alta tecnología para la producción de material genético de especies forestales exóticas y nativas en la zona de Pucallpa. Ucayali, Perú. Provincia de Coronel Portillo del Departamento de Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali – CFB km. 6.500. 8 p.
- Reyes, I; Alvarez, L; Valery, A. 2008. Selección y evaluación de rizobacterias promotoras del crecimiento en pimentón y maíz. San Cristóbal. Venezuela. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Bioagro v [20] n.1. s.p.
- IICA-CATIE. (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2020. Árboles y palmas emblemáticos de las Américas. Árboles y palmas emblemáticos de las Américas por IICA - CATIE se encuentra bajo una Licencia Creative Commons. 22 p.
- PROECEN. (Estudio de compartimiento de especies maderables nativas con importancia comercial del bosque húmedo tropical de Honduras). 2003. Guías silviculturales de 23 especies forestales del bosque húmedo de Honduras ESNACIFOR-PROECEN. 82 p.
- Gálvez -López, L; Vallejo, R; Méndez-Espinoza, C; López-Upton, J. 2020. *Cedrela odorata* L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 11 (58).
- Egüez Préxel, JD. 2000. Evaluación técnica'económica de plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla King*) en Honduras. ZAMORANO Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica. Universidad Zamorano. 3 p.
- Luz, S; Garibay, C; Aldrete, A; Upton, J; Manuel, L; Chaparro, O. 2019. Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. DIALNET Vol. 25, N°. 2 (Verano 2019).

- Quiñones–Rutiaga, JG; Pedraza–Bucio, FE; López–Albarrán, P; María, G. Velarde - Aguilar.2014. Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. Revista Chapingo Serie ciencias forestales y del ambiente. 16(2): 179-186.
- Aguirre Padilla, N; Erazo-Lara A. 2017. Valoración económica ambiental del compartimiento leñoso como una alternativa para conservar la biodiversidad del bosque seco de la provincia de Loja, Ecuador. Bosques Latitud Cero. Volúmen 7 No. 1
- Martínez, J; Cruz, I; Rubén, Cruz-Ruiz,2020. Importancia del control de variables ambientales en invernaderos para la producción de hortalizas. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Informativo N° 36. INIA La Cruz: Chorrillos N° 86 - La Cruz, Región de Valparaíso, Chile.
- González Kaiser, DO. 2001. Comparación entre la bolsa y el "cono macetero" o "tubete" en la producción de plantas de café. Honduras. Universidad EL ZAMORANO Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. 9 p.
- Domínguez-Lerena, S. 2000. La importancia del envase en la producción de plantas forestales. Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, Ministerio de Medio Ambiente, Apdo. 249, 19080 Guadalajara. Quercus 134: 34-37. España. 1p.
- Tane Grow Shop. 2021.Temperatura y humedad relativa. Disponible en Tane Grow Shop: <https://tanegrowshop.com/news/temperatura-y-humedad-relativa>
- González-Luna, Marbelly, H; Cruz-Castillo, JB. 2021. Anatomía y propiedades físicas de dos especies forestales comerciales Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Laurel (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) en Nicaragua. Universidad Nacional Agraria (UNA) Heyddy. vol. 21, núm. 37.
- Contexto Ganadero. 2021. Ventajas y desventajas de almacenamiento de plántulas en bolsas y tubetes. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/ventajas-y-desventajas-de-almacenamiento-de-plantulas-en-bolsas-y-tubetes>

Loewe, MV.2017. Desarrollo de especies latifoliadas de madera de alto valor en Chile: 25 años de experiencia con la técnica de arboricultura de calidad. Instituto Forestal INFOR. Santiago, Chile. Disponible en <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/696>

Soto-Cervantes, WO. 2020. Evaluación de sustratos y contenedores alternativos en la producción de porta injertos de mango (*Mangifera indica L.*) en fase de vivero, Chiquimula, Guatemala, 2020. Ingeniero Agrónomo En Sistemas de Producción en el grado académico de Licenciado. Chiquimula, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala Centro Universitario De Oriente Agronomía.4 p.

Guajardo-Becchi, F; Alvarado-Ojeda, Andrea; Baldini -Urrutia Aida R. 2013. Árboles urbanos de Chile guía de reconocimiento. Santiago de Chile. 2° edición, Junio de 2013, Inscripción N° 221.699.

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades físicas y químicas de las perlitas

Propiedades físicas	
Color	Blanco
Densidad aparente	70-130 kg/m ³ (según PLAB 0701)
Densidad compactada	80-150 kg/m ³ (según PLAB 0702)
Temperatura de fusión	1260 - 1350 ° C
Temp. de ablandamiento	1150 – 1250 ° C
pH en agua	7-10 (según PLAB 0705)
Humedad relativa	< 2 % (según PLAB 0713)
Calcinación	< 2 % (según PLAB 0718)
No Flotantes (V)	< 4 % (según PLAB 0741)
Conductividad térmica	≤ 0,04 W/mK a 20 °C
Calor específico	0,84 kJ/kgK
Combustibilidad	No combustible
Asbestos	Libre de asbestos

Composición química	
SiO ₂	70-80 %
Al ₂ O ₃	12-16 %
Na ₂ O	2-5 %
K ₂ O	2-5 %
CaO	0-2 %
MgO	0-1 %
Fe ₂ O ₃	0-1 %
H ₂ O (agua combinada)	<1 %

Fuente: (Ficha Técnica Perlita V-13, 2020).

Anexo 2. Propiedades físicas y químicas de las vermiculitas

Propiedades físicas	
Color	Marrón
Densidad aparente	100-155 kg/m ³ (según PLAB 0701)
Densidad compactada	120-180 kg/m ³ (según PLAB 0702)
Temperatura de fusión	1260 - 1350 ° C
Temp. de ablandamiento	1150 – 1250 ° C
pH en agua	6-9 (según PLAB 0705)
No Flotantes (V)	< 20 % (según PLAB 0741)
Absorción de humedad	< 10 % (según PLAB 0754)
Calcinación	3-10 % (según PLAB 0718)
Índice de refracción	1,5
Conductividad térmica	≤ 0,04 W/mK a 20 °C
Calor específico	0,84 kJ/kgK
Combustibilidad	No combustible
Asbestos	Libre de asbestos

Composición química	
SiO₂	35-41 %
Al₂O₃	12-16 %
K₂O	3-6 %
MgO	21-26 %
Fe₂O₃	6-10 %
CaO	2-6 %

Fuente: (Ficha Técnica V3 RA, 2019).

Anexo 3.Formación de las turbas

COMPOSICIÓN	
Carbono	59 %
Hidrógeno	6 %
Oxígeno	33 %
Nitrógeno	2 %
Materias volátiles	60 %

Fuente: (Quimica.Es, 2023).

Anexo 4. Propiedades de las turbas

Propiedades	Turba de turberas alras y de transición sinaditivos		
	Ligeramente descompuesta	Moderadamente descompuesta	Congelada altamente descompuesta
Densidad a granel (seca), g / L	40–80	70–150	120 – 250
Fracción de poros, vol%	95–98	91–96	85–93
Capacidad de agua, vol%	40–82	40–85	60–87
Capacidad de aire, % en volumen	16–58	11–56	6–33
Grado de descomposición (valorr), %	<42	42–62	>62
Índice de humificación H (von Post)	1–3	4–6	7–10
Materia orgánica en la materia seca, % en peso	94–99	94–99 (≥ 90)	94–99 (≥85)
Residuo de ignición en la materia seca, % en peso	1–6	1–6 (≤10)	1–6 (≤15)
pH (en CaCl ₂)	2.5–3.5	2.5–3.5 (≤4.0)	2.5–3.5 (≤5.0)
pH (en H ₂ O)	3.0–4.0	3.0–4.0 (≤5.0)	3.0–4.0 (≤6.0)

Conductividad eléctrica (método de volumen, 1: 3,6), $\mu\text{S} / \text{cm}$	< 175	< 175	< 175
Conductividad eléctrica (método de peso, 1 g de MS: 25 g), $\mu\text{S} / \text{cm}$	< 370	< 370	< 370

Fuente: (Composición y propiedades de la turba, 2014).

Anexo 5. Propiedades del sustrato comercial

Composición analítica	Parámetros físicos	Especificación
	Humedad	54%
	Materia orgánica seca	75-95 g/
	Densidad aparente compactación	183 – 200
	Metales pesados	Tipo A
	pH	5,4-6,2
	Conductividad eléctrica	1,0-1,5
	Retención humedad	
	Nivel de contracción	14%
	Volúmen total poros	93%
Inocuidad	Contaminación química	Libre de contaminación química
	Contaminación biológica	Libre de organismos nocivos

Fuente: Ficha técnica de sustrato comercial

Anexo 6. Propiedades físico químicas del bocashi

Análisis de algunas propiedades Físico- Químicas del Bocashi elaborado							
BOCASHI	pH relación 1:2,5	CE (ds/m)	MO (%)	CO ₃ -2 (%)	Nitrato (µg/g)	Amonio (µg/g)	C/N
	8,12	4,87	15,69	8,72	140,70	58,80	8,8 9

Fuente: Elaboración y uso del bocashi ministerio de agricultura y ganadería (Gonzáles y Gomez,2018).

Anexo 7. Macro y microelementos del bocashi

Contenido de algunos macro elementos en el abono Bocashi					
Macro elementos					
N (%) 0,98	P (%) 0,74	K (%) 0.61	Ca (%) 0,07	Ca (%) 0,07	Mg (ppm) 5950,33
Contenido de algunos micro elementos en el abono Bocashi					
Micro elementos					
Cu (ppm) 10,04	Fe (ppm) 11549,42	Zn (ppm) 105,44	Mn (ppm) 152,40	Na (ppm) 1456,25	

Fuente: Caracterización del abono Bocashi y su aplicación en el cultivo del pimentón (*Capsicum annuum*, L.) (Gonzáles y Gomez,2018).

Anexo 8. Características físicas y químicas del biochar

Características	Descripción
Composición Química	Principalmente carbono (C), pero también puede contener pequeñas cantidades de oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y otros elementos dependiendo del material de origen.
Estructura Porosa	Tiene una estructura interna altamente porosa que proporciona una gran área superficial, facilitando la absorción y retención de agua, nutrientes y microorganismos en el suelo.
pH Neutro a Alcalino	Tiende a tener un pH neutro a alcalino, lo que puede influir en la acidez del suelo y ser beneficioso para ciertos cultivos y condiciones.
Capacidad de Adsorción	Posee la capacidad de adsorber nutrientes y contaminantes, contribuyendo a mejorar la calidad del suelo y reducir la presencia de sustancias no deseadas.
Estabilidad a Largo Plazo	Es estable a largo plazo en el suelo, lo que significa que puede permanecer en el entorno durante períodos prolongados y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Estas características son generales y pueden variar según el método de producción, la materia prima utilizada y otros factores específicos del biochar. Es importante considerar estas variabilidades al seleccionar y aplicar biochar en contextos agrícolas o ambientales específicos.