



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**  
**EXTENSIÓN EN EL CARMEN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985



**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**


**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AGROPECUARIO**

**“Crecimiento de plantas forestales en etapas de viveros bajo sombra parcial  
en el trópico húmedo”**

**AUTOR:** Almeida Menéndez Ricardo Bolívar

**TUTOR:** Ing. Miguel Angel Macay Anchundia. Mg

El Carmen, diciembre del 2025

	<b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b> <b>CERTIFICADO DE TUTOR(A)</b>	<b>CÓDIGO: PAT-04-F-004</b>
	<b>PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	<b>REVISIÓN: 1</b> Página 1 de 59

## CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Almeida Menéndez Ricardo Bolívar** con C.I 172501269-2, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, periodo académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Crecimiento de plantas forestales en etapas de viveros bajo sombra parcial en el trópico húmedo”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 27 de enero del 2026.



Ing. Miguel Angel Macay Anchundia, Mg.

**Docente Tutor**

**Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria**

UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ  
EXTENSIÓN EN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

Crecimiento de plantas forestales en etapas de viveros bajo sombra parcial  
en el trópico húmedo

AUTOR: Almeida Meréndez Ricardo Bolívar

TUTOR: Ing. Miguel Ángel Macay Anchundia, Mg

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AGROPECUARIO

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ing. De La Cruz Chicaiza Marco Vinicio, Mg



Ing. Cobeña Loor Nexar Vismar, Mg



Ing. Nivela Morante Pedro Eduardo, Mg



## DECLARACION DE AUTORIA

Yo, **Ricardo Bolívar Almeida Menéndez** con cédula de ciudadanía 172501269-2, estudiante de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen, de la Carrera Ingeniería Agropecuaria, declaro que soy el autor de la tesis titulada “**Crecimiento de plantas forestales en etapas de viveros bajo sombra parcial en el trópico húmedo**”, esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total de su contenido y afirmo que todos los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autoría, están debidamente citados y referenciados.

Atentamente



Ricardo Bolívar Almeida Menéndez

## **DEDICATORIA**

*"El triunfo no está en vencer siempre, sino en nunca rendirse."- Napoleón Bonaparte*

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por haberme concedido la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para alcanzar uno de los sueños más anhelados de mi vida. Su guía ha sido luz en los momentos de duda y consuelo en los días difíciles.

Con profundo amor y gratitud, dedico también este trabajo a mi madre, Carmen Sara Menéndez Mejía, y a mi padre, Eudoro Bolívar Almeida Mejía, por brindarme los recursos, la confianza y el respaldo incondicional que me permitieron culminar con éxito mi carrera como Ingeniero Agropecuario. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, y por ser el motor que impulsó cada uno de mis pasos.

*Almeida Menéndez Ricardo Bolívar*

## **AGRADECIMIENTO**

*"La victoria pertenece al más perseverante"* -**Napoleón Bonaparte**

Agradezco profundamente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente en un entorno académico comprometido con la excelencia y el desarrollo integral.

Expreso mi sincera gratitud a mi familia, por su apoyo incondicional, por estar presente en cada etapa de este camino y ser mi principal fuente de fortaleza y motivación.

También agradezco a mis compañeros de clase, con quienes compartí experiencias, desafíos y aprendizajes que enriquecieron significativamente mi formación personal y profesional.

*Almeida Menéndez Ricardo Bolívar*

## ÍNDICE

PORTADA .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT .....	XIV
CAPÍTULO I.....	15
INTRODUCCIÓN.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
JUSTIFICACIÓN.....	18
OBJETIVOS.....	19
Objetivo general .....	19
HIPÓTESIS .....	19
METODOLOGÍA.....	20
1.1    Localización de la unidad experimental.....	20
1.2    Caracterización climatológica de la zona.....	20
1.3    Materiales.....	21
1.4    MÉTODOS.....	21
1.4.1    Método empírico .....	21
1.4.2    Método experimental.....	21
1.4.3    Método analítico-sintético.....	22
1.5    Variables del estudio .....	22

1.5.1	Variable independiente.....	22
1.5.2	Variable dependiente.....	22
1.6	Tratamientos.....	23
1.7	Análisis estadístico.....	23
1.8	Diseño experimental.....	23
1.9	Manejo del experimento.....	24
CAPÍTULO II .....		25
MARCO TEÓRICO.....		25
2.1	Qué es un vivero.....	25
2.2	Relevancia estratégica de los viveros forestales en programas de restauración y repoblación .....	25
2.3	Requisitos para el establecimiento del vivero forestal.....	25
2.4	Directriz para la distribución integral de áreas en viveros forestales.....	26
2.5	Criterios de selección de semilla para viveros forestales.....	27
2.6	Sustratos para la producción de plantas forestales en viveros .....	28
2.6.1	Mezclas estándar para bolsas y semilleros.....	28
2.6.2	Enmiendas orgánicas producidas en vivero .....	29
2.6.3	Desinfección del sustrato .....	29
2.7	Enfundado del sustrato .....	30
2.8	Repique: poda radicular, manipulación y trasplante .....	30
2.9	Adaptación o endurecimiento inicial.....	31
2.10	Importancia operativa y silvícola .....	31
2.11	Importancia forestal y económica de la caoba .....	32
2.11.1	Clasificación taxonómica .....	32
2.11.2	Características morfológicas .....	33
2.11.3	Requerimientos ecológicos y distribución .....	33
2.12	Rol ecológico y sostenibilidad .....	33

2.13	Características morfológicas .....	33
2.14	Requerimientos ecológicos y distribución .....	34
2.15	Rol ecológico y sostenibilidad .....	34
CAPÍTULO III .....		37
DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....		37
3.1	Descripción del sistema.....	37
3.2	Diseño y selección de tecnologías a implementar.....	39
3.3	Plan de implementación .....	41
3.4	Resultados .....	42
3.4.1	Días a la germinación.....	42
3.4.2	Porcentaje de germinación .....	43
3.4.3	Porcentaje de supervivencia e incidencia de <i>damping-off</i> .....	44
3.4.4	Número de hojas.....	44
3.4.5	Diámetro del tallo (mm).....	45
3.4.6	Altura de la planta (cm).....	46
CAPÍTULO IV .....		48
CONCLUSIONES .....		48
RECOMENDACIONES .....		49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		XXXV
ANEXOS.....		XXXV

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características climatológicas de la localidad.....	20
<b>Tabla 2.</b> <i>Materiales y equipos utilizados para la evaluación del crecimiento de plantas forestales en etapa de vivero bajo condiciones de sombra parcial en el trópico húmedo</i> .....	21
<b>Tabla 3.</b> Tratamientos del estudio .....	23
<b>Tabla 4.</b> Esquema del análisis de varianza .....	23
<b>Tabla 5.</b> Descripción de las zonas señaladas en el diagrama .....	26
<b>Tabla 6.</b> Tratamientos pre germinativos para especies forestales .....	27
<b>Tabla 7.</b> Métodos de desinfección de sustratos .....	29
<b>Tabla 8.</b> Clasificación taxonómica de la caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> King).....	32
<b>Tabla 9.</b> Desglose de gastos de implementación de los macrotúneles para plántulas de caoba .....	38
<b>Tabla 10.</b> <i>Materiales e insumos utilizados para la construcción del macrotúnel y establecimiento del vivero de caoba</i> .....	41
<b>Tabla 11.</b> Días a la germinación bajo diferentes condiciones de cobertura .....	43
<b>Tabla 12.</b> Porcentaje de germinación bajo diferentes condiciones de cobertura.....	43
<b>Tabla 13.</b> <i>Porcentaje de supervivencia e incidencia de damping-off en plántulas bajo diferentes condiciones de cultivo</i> .....	44
<b>Tabla 14.</b> <i>Número de hojas por plántula bajo diferentes condiciones de cultivo</i> .....	45
<b>Tabla 15.</b> <i>Diámetro (mm) del tallo de plántulas de caoba (<i>S. macrophylla</i>) bajo diferentes condiciones de cobertura en vivero</i> .....	45
<b>Tabla 16.</b> <i>Altura de plántulas de caoba (<i>S. macrophylla</i>) bajo diferentes condiciones de cobertura en vivero</i> .....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización geográfica del área de estudio .....	20
<b>Figura 2.</b> Distribución funcional de áreas dentro de un vivero forestal .....	26
<b>Figura 3.</b> Mezcla de sustratos para la producción de plantas forestales en vivero .....	28
<b>Figura 4.</b> Repicado correcto para obtener plantas sanas .....	31
<b>Figura 5.</b> Camas de crecimiento de plantas forestales .....	31
<b>Figura 6.</b> Esquema constructivo del macrotúnel con coberturas de sarán y plástico .....	39
<b>Figura 7.</b> Instalación de la cubierta plástica en macrotúnel para la protección y manejo de plántulas en vivero .....	40
<b>Figura 8.</b> Instalación de la cubierta de malla sarán en macrotúnel para la protección y manejo de plántulas en vivero.....	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> <i>Certificado de análisis de similitud</i> .....	XXXV
<b>Anexo 2.</b> <i>Instalación de la cubierta plástica y sarán en el macrotúnel del vivero para la producción de plántulas de caoba</i> .....	XXXV
<b>Anexo 3.</b> <i>Emergencia y establecimiento inicial de plántulas de caoba en fundas de vivero bajo condiciones experimentales</i> .....	XXXVI
<b>Anexo 4.</b> <i>Preparación del área experimental y organización del vivero para el establecimiento de plántulas de caoba (Swietenia macrophylla King)</i> .....	XXXVI
<b>Anexo 5.</b> <i>Medición del diámetro del cuello del tallo en plántulas de caoba durante la fase de evaluación morfológica en vivero</i> .....	XXXVII
<b>Anexo 6.</b> <i>Evaluación de la altura de plántulas de caoba mediante cinta métrica bajo condiciones experimentales</i> .....	XXXVII

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la respuesta de la germinación, supervivencia y desarrollo morfológico de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) bajo ambientes de vivero con y sin cobertura. El estudio se desarrolló mediante un Diseño Completamente al Azar con tres tratamientos: macrotúnel de sarán, macrotúnel plástico y cielo abierto, con cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados indicaron que la germinación fue mayor bajo malla sarán, registrándose el menor número de días a la germinación ( $10,75 \pm 0,42$  días) y el mayor porcentaje de germinación ( $87,75 \pm 0,42\%$ ). El mayor número de hojas se observó consistentemente en sarán, con medias máximas de  $3,25 \pm 0,20$  hojas a los 15 días,  $7,25 \pm 0,46$  a los 30 días,  $9,20 \pm 0,40$  a los 45 días y  $11,76 \pm 0,10$  a los 60 días. El mayor diámetro del tallo se registró bajo cubierta plástica, con valores máximos de  $3,08 \pm 0,10$  mm a los 15 días,  $3,20 \pm 0,10$  mm a los 30 días,  $3,83 \pm 0,09$  mm a los 45 días y  $4,01 \pm 0,07$  mm a los 60 días. Asimismo, la mayor altura de planta fue bajo cobertura plástica, alcanzando  $17,13 \pm 0,65$  cm,  $17,50 \pm 0,45$  cm,  $18,00 \pm 0,37$  cm y  $19,25 \pm 0,26$  cm a los 15, 30, 45 y 60 días, respectivamente. La supervivencia fue 98,33% y el *damping-off* se presentó únicamente en cielo abierto. Se concluyó que el uso de coberturas en vivero mejoró significativamente el establecimiento y crecimiento inicial de las plántulas de caoba.

**Palabras clave:** caoba, vivero, germinación, crecimiento, cobertura

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the response of germination, survival, and morphological development of mahogany seedlings (*Swietenia macrophylla*) under different nursery environments with and without cover. The study was conducted using a Completely Randomized Design with three treatments: macrotunnel with sarán mesh, plastic-covered macrotunnel, and open-field conditions, with four replications per treatment. Results indicated that germination was more efficient under sarán mesh, recording the shortest germination time ( $10.75 \pm 0.42$  days) and the highest germination percentage ( $87.75 \pm 0.42\%$ ). The highest number of leaves was consistently observed under sarán mesh, with maximum means of  $3.25 \pm 0.20$  leaves at 15 days,  $7.25 \pm 0.46$  at 30 days,  $9.20 \pm 0.40$  at 45 days, and  $11.76 \pm 0.10$  at 60 days. The largest stem diameter was recorded under plastic cover, with maximum values of  $3.08 \pm 0.10$  mm at 15 days,  $3.20 \pm 0.10$  mm at 30 days,  $3.83 \pm 0.09$  mm at 45 days, and  $4.01 \pm 0.07$  mm at 60 days. Likewise, the greatest plant height was obtained under plastic cover, reaching  $17.13 \pm 0.65$  cm,  $17.50 \pm 0.45$  cm,  $18.00 \pm 0.37$  cm, and  $19.25 \pm 0.26$  cm at 15, 30, 45, and 60 days, respectively. Survival was high (98.33%), and damping-off occurred only under open-field conditions. It was concluded that the use of nursery covers significantly improved the establishment and early growth of mahogany seedlings.

**Keywords:** mahogany, nursery, germination, growth, cover

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La luz solar es un factor ambiental determinante en el desarrollo de las plantas. Si bien una mayor irradiación puede favorecer el crecimiento hasta cierto punto, intensidades excesivas provocan fotoinhibición y estrés en las plántulas (Bustos-Salazar & Zuñiga-Feest, 2019).

En viveros del trópico húmedo, la radiación solar intensa, combinada con altas temperaturas, puede limitar el desarrollo de las plántulas al generar estrés hídrico y foto-oxidativo (Rosales-Mata et al., 2015). Por ello, es prácticamente común implementar sombra parcial mediante mallas u otras coberturas para crear un microclima más benigno, lo que mejora las condiciones lumínicas y térmicas durante la etapa de vivero (Li et al., 2025).

Este manejo pretende imitar las condiciones de sotobosque de los ecosistemas tropicales, brindando a las plántulas jóvenes un ambiente protegido similar al de su hábitat natural (Gaviria-Trujillo, 2016; Muñoz et al., 2015). Uno de los desafíos clave en la producción de plantas forestales en vivero es aumentar la tasa de crecimiento sin menoscabar la calidad de las plántulas, medida por parámetros morfológicos como altura apropiada, diámetro del tallo, relación vástago/raíz equilibrada y distribución óptima de biomasa (Li et al., 2025; López-Elías et al., 2011).

El régimen lumínico influye marcadamente en esos atributos. Un sombreado moderado (por ejemplo, 30–50% de reducción de luz) suele favorecer un crecimiento balanceado, evitando el estrés excesivo, mientras que una sombra demasiado densa o prolongada tiende a producir plántulas etioladas es decir, individuos de tallos larguiruchos, delgados y con escasa lignificación (Bernaola et al., 2016; Li et al., 2025).

Estudios en viveros han observado que el uso prolongado de mallas de sombra (especialmente las de tonalidad negra) promueve la elongación excesiva, dando lugar a plantas suculentas y débiles estructuralmente (López-Elías et al., 2011; Santelices et al., 1995). Estas alteraciones morfológicas indican un desbalance en la asignación de recursos: las plántulas bajo sombra intensa invierten más en altura y follaje para captar luz, a expensas del engrosamiento del tallo y el desarrollo radical (Juárez-Mirón et al., 2021).

En contraste, la ausencia total de sombra (pleno sol) puede reducir el tamaño foliar y la proporción de la parte aérea, generando plantas más pequeñas y de follaje denso, pero

potencialmente más lignificadas, aunque expuestas a mayor estrés hídrico y térmico (Orozco et al., 2010). El manejo inadecuado de la sombra durante la producción puede repercutir negativamente en la calidad de planta (Li et al., 2025).

Mantener la cobertura de sombra durante todo el ciclo de vivero, sin una reducción progresiva, proporciona plántulas desbalanceadas, con tallos demasiado delgados, succulentos y alturas superiores a las recomendadas para el tipo de envase (Reyes-Reyes et al., 2021). En tales condiciones, la planta se elonga en exceso debido a la baja incidencia de luz solar, resultando en órganos aéreos sobredesarrollados en relación con las raíces (Juárez-Mirón et al., 2021).

Por ejemplo, Li et al. (2025) determinaron que un sombreado del 50 % fue el más beneficioso para plántulas de *Melaleuca alternifolia* en condiciones subtropicales, incrementando significativamente el contenido de clorofila foliar y disminuyendo indicadores de estrés oxidativo (menor concentración de malondialdehído, MDA) en comparación con plántulas a pleno sol. Bajo este nivel de sombra, las plántulas de *M. alternifolia* mostraron un mejor desempeño en crecimiento, con mayores valores de altura, diámetro de cuello y área foliar que las obtenidas sin sombra (Reyes-Reyes et al., 2021).

Ello se tradujo en tasas fotosintéticas más altas y una utilización más eficiente de la luz, reflejo de un mayor vigor fisiológico general (Li et al., 2025). En contraste, la luz solar intensa sin ningún tipo de protección provocó signos de fotoinhibición en las plántulas, reduciendo su capacidad fotosintética y, por ende, el ritmo de crecimiento (Leblanc & Márquez, 2014).

En última instancia, alcanzar un adecuado equilibrio morfológico y una alta eficiencia fisiológica gracias al uso de sombra parcial en vivero se traduce en un mayor éxito de establecimiento de las plantas en el campo. Numerosas investigaciones han demostrado que la calidad de planta al salir del vivero está estrechamente ligada a su desempeño en la plantación.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los sistemas de producción forestal, la etapa de vivero representa una fase determinante para el éxito del establecimiento de las plantas en campo definitivo (Alvarado-Carrillo et al., 2018). No obstante, en regiones del trópico húmedo, las condiciones ambientales extremas como la alta radiación solar y las elevadas temperaturas generan un ambiente hostil que puede comprometer el desarrollo morfológico y fisiológico de las plántulas (Arce & Vallejos, 2023).

Una de las causas identificadas con mayor frecuencia es el manejo inadecuado del régimen

de sombra, factor que incide directamente sobre la calidad del material vegetal producido (Basave-Villalobos et al., 2017).

La aplicación excesiva o deficiente de sombra en viveros forestales produce efectos negativos sobre la arquitectura de las plantas (Juárez-Mirón et al., 2021). En condiciones de sombra intensa o prolongada, las plántulas tienden a desarrollar tallos delgados y elongados, hojas grandes y estructuras débiles, lo cual genera un desequilibrio entre la parte aérea y el sistema radicular (Muñoz et al., 2015).

Por otro lado, la exposición directa al sol, sin un control lumínico adecuado, puede inducir estrés hídrico, daños foto-oxidativos y reducir la eficiencia fotosintética, lo que limita el crecimiento y disminuye el vigor de las plántulas (Li et al., 2025). En ambos casos, la consecuencia es la producción de plantas con baja calidad morfológica y fisiológica, lo que reduce su capacidad de adaptación en campo y su tasa de supervivencia.

Frente a esta problemática, se plantea la necesidad de evaluar el efecto del uso de sombra parcial como una estrategia de manejo técnico para mejorar las condiciones de viverización (Rueda-Sánchez et al., 2014). La sombra parcial, aplicada con criterios científicos y en niveles adecuados, puede reducir el impacto del estrés térmico y lumínico, promoviendo un crecimiento más equilibrado y eficiente desde el punto de vista fisiológico (Orozco et al., 2010).

De esta manera, se busca generar información precisa que permita optimizar la producción de plantas forestales de alta calidad, adaptadas a las condiciones del trópico húmedo.

### **Pregunta de investigación**

¿Cómo influye la aplicación de sombra parcial en el crecimiento morfológico y fisiológico de plántulas forestales en etapa de vivero bajo condiciones del trópico húmedo?

## JUSTIFICACIÓN

Los viveros forestales permiten controlar condiciones ambientales críticas durante la etapa más vulnerable del ciclo de vida de las plantas: desde la germinación hasta la obtención de plántulas robustas y adaptadas. En regiones del trópico húmedo, donde la radiación solar puede alcanzar niveles excesivos y las temperaturas fluctúan con alta humedad relativa, el uso de sombra parcial en vivero es una herramienta clave para proteger las plántulas del estrés foto-oxidativo (Saikia et al., 2017).

Estudios como el de Thomas et al. (2014), han demostrado que una moderada reducción de luz mediante mallas de sombra mejora la tasa de crecimiento y la eficiencia fotosintética, al tiempo que reduce la evapotranspiración y el riesgo de fotoinhibición. Además, la sombra parcial aplicada durante las primeras etapas de viverización permite imitar las condiciones del sotobosque natural, donde muchas especies forestales nativas del trópico germinan y se desarrollan en sus fases iniciales (Villalón-Mendoza, 2016).

Esta técnica favorece un crecimiento más equilibrado, evitando la elongación excesiva que ocurre bajo sombra profunda y los daños estructurales producidos por exposición directa al sol (Nilsson et al., 2016). En este contexto, el vivero se convierte no solo en un espacio de producción, sino en un entorno semi-controlado de aclimatación progresiva, en el que se induce un desarrollo morfológico y fisiológico óptimo antes del trasplante definitivo (Espeland et al., 2017).

La implementación de viveros forestales con manejo de sombra parcial también fortalece los objetivos de conservación y restauración ecológica, especialmente en ecosistemas tropicales alterados por la deforestación y el cambio climático (Orozco et al., 2010). Al permitir la producción de plántulas con mayor calidad morfológica y capacidad de adaptación, se incrementa la tasa de supervivencia en campo, se reducen costos de replantación y se mejora la eficiencia de los programas de reforestación (Rueda-Sánchez et al., 2012).

Según la FAO (2022), más del 60 % de las iniciativas de restauración en América Latina han incorporado viveros tecnificados con manejo de sombra como parte de sus estrategias para recuperar paisajes degradados. Finalmente, la incorporación de técnicas de sombreado controlado en viveros ofrece ventajas técnicas y socioambientales a largo plazo (Rueda-Sánchez et al., 2012).

Desde el punto de vista productivo, se mejora la calidad de planta mediante una reducción de la mortalidad en vivero y una mayor uniformidad del lote. Desde el enfoque comunitario, el uso de sistemas de sombra parcial en viveros rurales o agroforestales promueve la transferencia de tecnologías adaptadas al cambio climático, generando empleo, capacitación y compromiso local con la reforestación (Espeland et al., 2017). Tal como lo señalan Saikia et al. (2017), estas innovaciones no solo mejoran los indicadores de éxito en plantaciones, sino que fortalecen los vínculos entre producción, sostenibilidad y resiliencia ecológica.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la sombra parcial sobre el crecimiento morfológico, fisiológico y sanitario de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) en etapa de vivero, bajo condiciones del trópico húmedo.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la respuesta del porcentaje de germinación de plántulas de caoba bajo diferentes ambientes de vivero con y sin cobertura.
- Evaluar el efecto de la sombra parcial sobre variables morfológicas de las plántulas, tales como altura, diámetro del cuello del tallo y número de hojas.
- Analizar el porcentaje de supervivencia e incidencia de damping-off de las plántulas de caoba en función del tipo de cobertura utilizada.
- Comparar el comportamiento de las plántulas de caoba cultivadas bajo macrotúnel de sarán, macrotúnel plástico y cielo abierto.

## **HIPÓTESIS**

- **Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La aplicación de diferentes niveles de sombra parcial no genera diferencias en el crecimiento morfológico, fisiológico ni sanitario de las plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) en etapa de vivero.
- **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** La aplicación de diferentes niveles de sombra parcial genera diferencias significativas en el crecimiento morfológico, fisiológico y sanitario de las plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla*) en etapa de vivero.

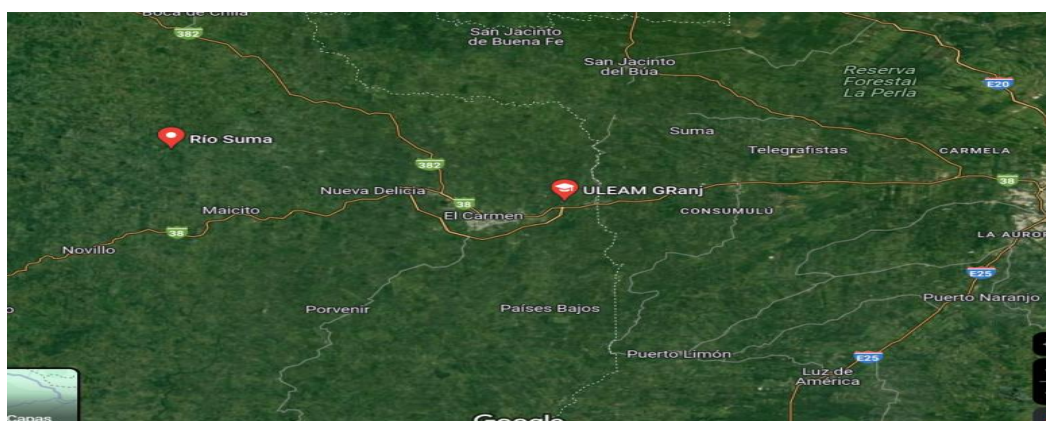
## METODOLOGÍA

### 1.1 Localización de la unidad experimental

La presente investigación se desarrolló en la fase de vivero forestal de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, específicamente en las instalaciones de la Granja Experimental Río Suma, localizada en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. Este espacio académico, ubicado a 266 m s. n. m. (UTM: 675008,00 m E y 9 971 300,00 m S), está destinado a la producción y evaluación de plántulas de especies forestales, en condiciones controladas de humedad y sombra propias del trópico húmedo.

La especie evaluada fue la caoba (*Swietenia macrophylla* King), árbol forestal tropical perteneciente a la familia Meliaceae, reconocido por su importancia ecológica y productiva, así como por su sensibilidad en etapa de vivero a factores ambientales como la disponibilidad lumínica y la humedad, lo que justificó su selección como objeto de estudio.

**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio



**Nota.** Tomado de Google Maps, (2025).

### 1.2 Caracterización climatológica de la zona

A continuación, algunas características agroclimáticas del cantón:

**Tabla 1.** Características climatológicas de la localidad

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	86
Heliofanía (Horas luz año <sup>-1</sup> )	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)

### 1.3 Materiales

**Tabla 2.** *Materiales y equipos utilizados para la evaluación del crecimiento de plantas forestales en etapa de vivero bajo condiciones de sombra parcial en el trópico húmedo*

<b>Equipos de riego</b>	<b>Herramientas e instrumentos</b>	<b>Insumos de vivero forestal</b>
Bomba centrífuga superficial	Palas y picos	Semillas frescas de caoba
Manguera de succión	Cinta métrica y nivel	Sustrato T1: cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus
Válvula de pie con colador	Llaves ajustables / cortatubos	Sustrato T2: compost + aserrín de balsa + arenilla de río
Válvula de retención (cheque)	Destornilladores y tenazas	Bandejas germinadoras
Filtro de malla	Recipientes graduados (5–10 L)	Fundas de polietileno para plántulas
Línea principal (manguera/tubería)	Cronómetro	Etiquetas de identificación
Válvulas de corte	Termómetro de ambiente/sustrato	Marcadores indelebles
Derivaciones internas (tees, codos)	Higrómetro o medidor de humedad (opcional)	Malla sombra
Nebulizadores o aspersores 360°	Cinta de teflón	Regaderas manuales (apoyo)
Soportes para aspersores (riser)	Abrazaderas metálicas	Guantes descartables para siembra
Adaptadores y reductores	Sierra/segueta para plástico	Bolsas para residuos
Uniones y conectores	Multímetro (verificación eléctrica básica)	
Acoples rápidos	EPP: guantes, gafas, botas	
Manómetro	Baldes para remojo de semillas	

### 1.4 MÉTODOS

#### 1.4.1 Método empírico

Se aplicó observación directa y registro sistemático del establecimiento y crecimiento inicial de plántulas forestales en vivero, con el objetivo de documentar variables morfológicas bajo condiciones diferenciadas de sombra (Guadalupe & Concepción, 2020). Esta metodología permitió evaluar de forma práctica el comportamiento de las plantas en respuesta a la cobertura parcial del sol en un entorno tropical húmedo (Álvarez & Sierra, 1995).

#### 1.4.2 Método experimental

Se adoptó un enfoque experimental bajo condiciones controladas en vivero forestal, considerando variables ambientales como temperatura, humedad y frecuencia de riego. El

experimento contempló tres tratamientos, definidos en función del tipo de cobertura y nivel de exposición lumínica:

- T1: Cultivo bajo estructura con cobertura de malla sarán (sombra parcial).
- T2: Cultivo bajo estructura con cobertura plástica.
- T3: Cultivo a campo abierto, sin ningún tipo de cobertura.

Todos los tratamientos emplearon el mismo tipo de sustrato, igual manejo hídrico y prácticas agronómicas homogéneas, con el fin de garantizar que las diferencias observadas en el crecimiento de las plántulas se atribuyeran exclusivamente al efecto de los niveles de sombra. Las semillas utilizadas correspondieron a la especie forestal caoba (*Swietenia macrophylla* King), adaptada a las condiciones del trópico húmedo.

#### **1.4.3 Método analítico-sintético**

El método analítico-sintético permitió evaluar el efecto de la sombra parcial sobre las variables morfológicas, fisiológicas y sanitarias de las plántulas de caoba. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA) acorde al Diseño Completamente al Azar y, cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó una prueba de comparación de medias. La integración de los resultados permitió interpretar de forma global la respuesta de las plántulas en los diferentes ambientes de vivero (Bustos et al., 2008).

### **1.5 Variables del estudio**

#### **1.5.1 Variable independiente**

Sombra Parcial.

#### **1.5.2 Variable dependiente**

- Porcentaje de germinación.
- Altura de plántula (cm).
- Diámetro del cuello del tallo (mm).
- Número de hojas.
- Porcentaje de supervivencia.
- Incidencia de damping-off.

## 1.6 Tratamientos

**Tabla 3.** *Tratamientos del estudio*

<b>Tratamientos</b>	<b>Ambiente de vivero</b>	<b>Tipo de cobertura</b>
T1	Macrotúnel de sarán	Malla sarán
T2	Macrotúnel de plástico	Cubierta plástica
T3	Cielo abierto	Sin cobertura

## 1.7 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se aplicó estadística descriptiva e inferencial. Inicialmente, se calcularon medidas de tendencia central y dispersión para cada una de las variables evaluadas: porcentaje de germinación, altura de plántula, diámetro del cuello del tallo, número de hojas, porcentaje de supervivencia e incidencia de damping-off.

Posteriormente, los datos fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA) correspondiente al Diseño Completamente al Azar, con el objetivo de determinar la existencia de diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, considerando un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ . Previo a la aplicación del ANOVA, se verificaron los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas.

Cuando el análisis de varianza evidenció diferencias significativas, se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias, como Tukey ( $p \leq 0,05$ ), para identificar el comportamiento diferencial de los tratamientos. Los resultados fueron expresados como medias acompañadas de su respectivo error estándar.

**Tabla 4.** *Esquema del análisis de varianza*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	11
Tratamientos	2
Error	9

## 1.8 Diseño experimental

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental, aplicando un Diseño Completamente al Azar (DCA), debido a la homogeneidad de las condiciones ambientales presentes en el vivero forestal. El experimento estuvo conformado por tres tratamientos, definidos en función del tipo de cobertura y nivel de sombra parcial: macrotúnel con malla sarán (T1), macrotúnel con cubierta plástica (T2) y cielo abierto sin cobertura (T3).

Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, generándose un total de doce unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por un conjunto de fundas plásticas con plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King), distribuidas aleatoriamente dentro de cada ambiente de vivero, con el propósito de minimizar posibles efectos de posición y asegurar la independencia experimental.

## **1.9 Manejo del experimento**

El estudio se ejecutó durante un periodo de 60 días en el vivero forestal de la Granja Experimental Río Suma, bajo condiciones ambientales propias del trópico húmedo. El experimento se estructuró con base en la variable independiente sombra parcial, evaluada a través de tres ambientes de vivero correspondientes a los tratamientos definidos: macrotúnel con malla sarán, macrotúnel con cubierta plástica y cielo abierto sin cobertura.

Previo a la siembra, se realizó el llenado de fundas plásticas negras de 5 × 12 pulgadas, utilizando un sustrato homogéneo compuesto por tierra negra y abono orgánico tamizado en proporción 2:1. Esta mezcla permitió asegurar condiciones adecuadas de aireación, retención de humedad y disponibilidad de nutrientes para el desarrollo inicial de las plántulas.

Las semillas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) fueron seleccionadas en función de su tamaño uniforme y grado de madurez fisiológica. Posteriormente, se aplicó un proceso de desinfección mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1 % durante tres minutos, seguido de tres enjuagues consecutivos con agua potable, con el objetivo de reducir la incidencia de patógenos asociados a la germinación y al establecimiento inicial.

Una vez sembradas, las fundas fueron distribuidas de manera uniforme en cada tratamiento, garantizando condiciones similares de manejo agronómico en cuanto a riego y mantenimiento. El suministro de agua se realizó de forma manual, manteniendo la humedad del sustrato cercana a la capacidad de campo, evitando encharcamientos que pudieran favorecer la aparición de enfermedades como el damping-off.

Durante el periodo experimental se registraron las variables dependientes: porcentaje de germinación, altura de plántula, diámetro del cuello del tallo, número de hojas, porcentaje de supervivencia e incidencia de damping-off, con el fin de evaluar la respuesta morfológica y sanitaria de las plántulas frente a los diferentes niveles de sombra parcial en vivero forestal.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Qué es un vivero**

Un vivero forestal es una unidad de producción donde se propagan y manejan especies arbóreas, ornamentales, frutales o medicinales hasta alcanzar la etapa de trasplante al sitio definitivo (Adame et al., 2021). Dentro del vivero, las plántulas reciben riego, fertilización, control fitosanitario y acondicionamiento fisiológico, con el fin de garantizar su supervivencia y crecimiento inicial en campo (Rueda-Sánchez et al., 2012).

#### **2.2 Relevancia estratégica de los viveros forestales en programas de restauración y repoblación**

Los viveros forestales constituyen el punto de partida ineludible en cualquier programa de repoblación o restauración, porque concentran, con un costo sensiblemente menor que las labores directas en campo, la preparación de sustratos, la fertilización y el control de malezas; garantizan plántulas vigorosas, uniformes y libres de patógenos gracias al monitoreo estricto del productor; favorecen la adaptación al emplear semilla local adecuada a las condiciones climáticas y edáficas del área objetivo (MAATE, 2014).

También permiten programar siembras y trasplantes dentro de la ventana climática óptima sin depender de la fructificación natural; y, por último, generan impacto socioeconómico positivo al crear empleo, fortalecer la seguridad alimentaria y diversificar los ingresos comunitarios mediante la venta de plántulas y la prestación de servicios de reforestación (MAGAP, 2023).

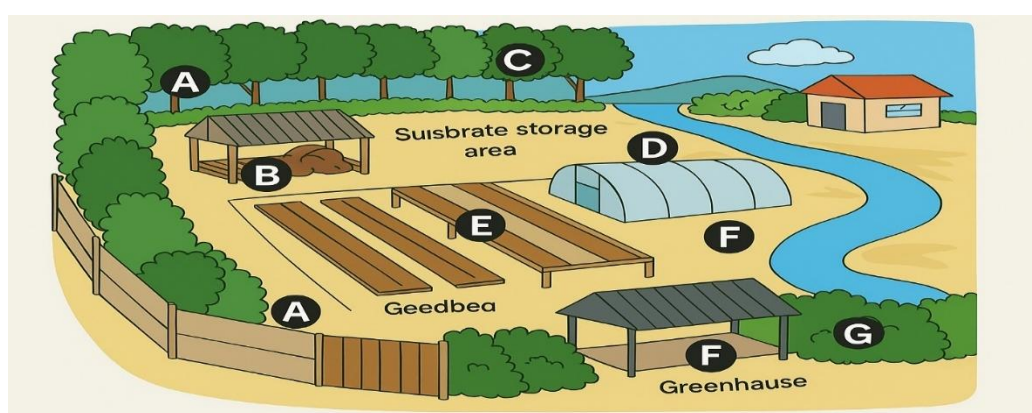
#### **2.3 Requisitos para el establecimiento del vivero forestal**

La elección del terreno constituye la decisión más crítica al instalar un vivero; este espacio, ya sea comunal o facilitado por una organización, debe garantizar agua abundante y de calidad durante todo el año, protegerse con cercas y cortinas de árboles que atenúen heladas, vientos fuertes e impedir el ingreso de animales y personas, situarse cerca de las viviendas para facilitar el cuidado cotidiano, disponer de vías de acceso que permitan el traslado eficiente de herramientas, insumos y plántulas, y orientar platabandas, semilleros y umbráculos en sentido este-oeste para optimizar la captación de la radiación solar (MAGAP, 2023; Rueda-Sánchez et al., 2014; Santelices et al., 1995).

## 2.4 Directriz para la distribución integral de áreas en viveros forestales

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (2023) recomienda este esquema porque integra, dentro de un espacio compacto y protegido, todas las áreas críticas del ciclo productivo. La zona de acopio mantiene la pureza del sustrato bajo cubierta; la cortina rompevientos reduce daños mecánicos y evaporación; el reservorio garantiza un suministro hídrico constante; y la disposición lineal de germinadores, camas de almácigo e invernadero acorta los recorridos del personal, disminuye el tiempo de traslado de bandejas y refuerza la bioseguridad al separar las fases más sensibles del proceso (Rueda-Sánchez et al., 2012).

**Figura 2.** Distribución funcional de áreas dentro de un vivero forestal



Nota: tomado de MAGAP, (2023)

**Tabla 5.** Descripción de las zonas señaladas en el diagrama

Letra	Área funcional	Descripción y propósito operativo
A	Cerramiento perimetral	Cerca viva o de estacas con malla que impide el ingreso de personas y animales, además de delimitar el predio y facilitar la seguridad del material vegetal.
B	Cortina rompevientos	Fila de árboles o arbustos tolerantes a la poda que reduce la velocidad del viento, mitiga la evaporación y protege las plántulas de daños mecánicos.
C	Zona de acopio de sustrato	Espacio techado donde se almacenan sustratos orgánicos e inertes; posibilita la mezcla homogénea y evita la contaminación por lluvia.
D	Bancada de pregerminación	Superficie elevada para bandejas o camas de germinación que garantiza buen drenaje y facilita el control de riego.
E	Camas de almácigo	Parcelas niveladas donde se establecen las plántulas hasta alcanzar el tamaño de repique o trasplante a bolsa.
F	Invernadero / sombraje	Estructura con cubierta plástica o malla raschel que regula temperatura y radiación; empleada en la fase de endurecimiento.
G	Reservorio y caseta de bombas	Fuente permanente de agua con sistema de impulsión que abastece riego y fertirrigación de todo el vivero.

Nota: adaptado de MAGAP, (2023)

## 2.5 Criterios de selección de semilla para viveros forestales

La germinación uniforme y rápida comienza con semilla fisiológicamente viable y con tratamientos pregerminativos adecuados (Aguirre-Medina et al., 2007). Durante la estancia en el semillero que, según la especie, osciló entre ocho y veinticinco días las camas se cubrieron con paja o frondas para evitar el desecamiento de la testa y se regaron a primera hora de la mañana o al atardecer, aplicando agua fina que humedeció el sustrato sin encharcarlo (Rueda-Sánchez et al., 2014).

Una vez que las plántulas mostraron de cuatro a cinco hojas verdaderas y alcanzaron entre 4 y 6 cm de altura, estuvieron listas para el repique a bolsa o cama elevada, práctica que redujo el estrés por competencia y mejoró el calibre final de la planta (Adame-García et al., 2024).

**Tabla 6.** *Tratamientos pre germinativos para especies forestales*

Especie	Tratamiento pregerminativo sugerido	Referencias
<i>Gmelina arborea</i> (melina)	Opciones equivalentes: (i) remojo en sacos dentro de agua corriente siete días con cambio diario del agua; (ii) hidratación tres días y secado solar diurno hasta iniciar la imbibición; (iii) inmersión 24 h en agua a 22–25 °C.	(MAGAP, 2023)
<i>Ochrom</i> sp. (balsa)	Lijado suave hasta exponer una superficie mate seguido de escaldado breve: inmersión en agua a 100 °C durante 10 min.	(Kunstmann et al., 1986)
<i>Schizolobium parahyba</i> (pachaco)	Escarificación mecánica con lija gruesa hasta exponer el embrión y, acto seguido, remojo nocturno en agua fría o inmersión en agua hirviente por 5 min.	(Mestre, 2009)
<i>Tectona grandis</i> (teca)	Métodos alternativos: (i) rotación nocturna de sacos en río + secado solar diurno durante 30 días; (ii) ciclos de remojo nocturno y oreo diurno 15–17 días; (iii) quema controlada de paja sobre los frutos para craquear la drupa; (iv) baño en NaOH 1–4 % por 3 h y posterior escarificación puntual.	(Gómez et al., 2013)
<i>Persea americana</i> (aguacate)	Remojo nocturno, desinfección manual de la testa y siembra con el ápice hacia arriba; alternativa hidropónica: semilla medio sumergida hasta emitir raíces antes del trasplante.	(García-Fajardo et al., 1999)
<i>Eucalyptus</i> sp. (eucalipto andino)	No requiere escarificación; el remojo en agua templada 24 h acelera la imbibición y acorta el inicio de la germinación.	(Ballester et al., 1982)
<i>Pinus</i> sp. (pino tropical)	Soak en agua aireada a 4 °C durante 24 h o inmersión en H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> al 3 % por 1 h para reducir patógenos y mejorar la emergencia.	(Silva-Pando, 2022)

El remojo prolongado favoreció la lixiviación de inhibidores y ablandó la cubierta seminal en melina y teca; la escarificación mecánica o química rompió la dormancia física propia de leguminosas como pachaco; el choque térmico en balsa y pachaco incrementó la permeabilidad

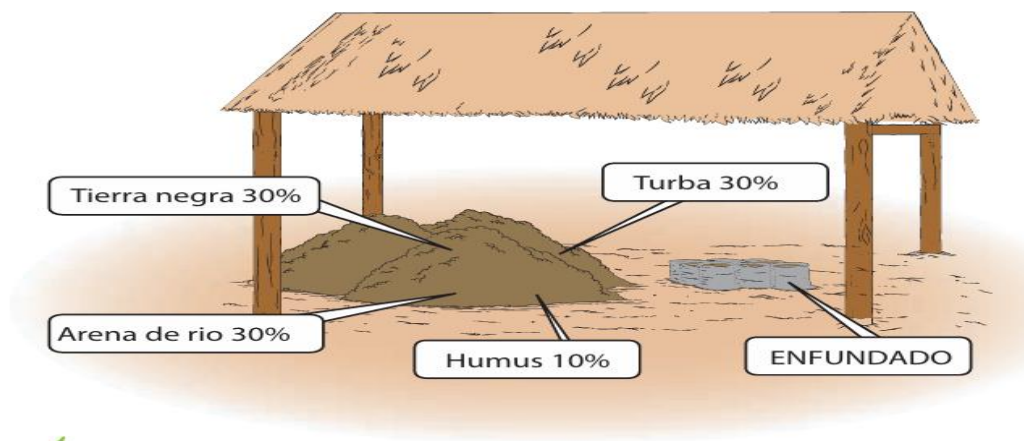
de la testa; y los baños en álcalis o peróxido redujeron contaminantes fúngicos, criterio clave para pináceas producidas a gran escala (Gómez et al., 2013; Kunstmann et al., 1986).

Estos tratamientos, al combinarse con una semilla genéticamente pura y fisiológicamente madura, elevaron la germinación por encima del 80 % y acortaron el tiempo de obtención de plántulas trasplantables en al menos una semana, lo que repercutió en menor costo de manejo y mayor uniformidad del vivero (Silva-Pando, 2022).

## 2.6 Sustratos para la producción de plantas forestales en viveros

El sustrato actúa como soporte físico, reservorio hídrico y medio de intercambio nutrimental para la plántula. Para cumplir estas funciones debe mantener porosidad total de 50-60 %, retener entre 25-35 % de agua disponible y mostrar pH próximo a la neutralidad (6,0-6,8). Además, su densidad aparente no debe superar  $0,9 \text{ g cm}^{-3}$ , condición que facilita la aireación radicular y evita la compactación (Landis, Tinus, & McDonald, 1990).

**Figura 3.** Mezcla de sustratos para la producción de plantas forestales en vivero



**Nota:** tomado de MAATE (2023)

### 2.6.1 Mezclas estándar para bolsas y semilleros

El Manual de Viveros Forestales del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador propone dos fórmulas básicas (MAG, 2023):

- **Relación 1:1:1** → una parte de arena, una de suelo y una de materia orgánica (compost o humus).
- **Relación 1:2:1** → una parte de arena, dos de suelo y una de materia orgánica.

La primera mezcla favorece la infiltración y se recomienda para suelos arcillosos, mientras que la segunda incrementa la capacidad de intercambio catiónico cuando el suelo posee textura franca (Rueda-Sánchez et al., 2012). Para bandejas o tubetes se sugiere aumentar la fracción mineral pesada a fin de estabilizar el cepellón; una proporción 1 materia orgánica: 2 suelo ha mostrado buenos resultados en especies frondosas tropicales (MAG, 2023).

Si la tierra disponible presenta alto contenido de arcilla, se iguala su proporción a la de los demás componentes a fin de impedir la cementación del sustrato (Rueda-Sánchez et al., 2012). Por el contrario, un suelo arenoso exige incrementar la materia orgánica para mejorar la retención de humedad.

Plantines de pino y ciprés prosperan en medios ligeros compuestos por corteza compostada de pino y perlita o vermiculita (Andrade-Rodríguez et al., 2008). El agregado de un fertilizante de liberación controlada con análisis 10-30-10 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) aporta nitrógeno para el follaje, fósforo que estimula la raíz y potasio que regula la turgencia celular (Bernaola et al., 2016)

### 2.6.2 Enmiendas orgánicas producidas en vivero

El manual ecuatoriano aconseja elaborar compost en sitio por su sencillez frente a la lombricultura, aunque esta última ofrece abono de mayor calidad biológica (Andrade-Rodríguez et al., 2008). El estiércol de aves puede incorporarse siempre que permanezca seco, no desprenda lixiviados y se utilice como complemento, nunca como sustituto total de la mezcla (MAG, 2023).

### 2.6.3 Desinfección del sustrato

La sanidad del medio de cultivo influye de forma decisiva en la supervivencia inicial. Existen dos métodos principales:

**Tabla 7.** *Métodos de desinfección de sustratos*

<b>Método</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Ventajas</b>
<b>Térmico</b>	Aplicar agua a 100 °C sobre el sustrato o cubrirlo con plástico transparente bajo insolación intensa durante cinco días (solarización).	Elimina hongos, nematodos y semillas de malezas sin dejar residuos químicos.
<b>Químico</b>	Humedecer el sustrato con fumigante autorizado, cubrirlo cinco días para retener los gases, remover y dejar reposar diez a quince días antes de la siembra.	Acción rápida y uniforme; requiere manejo especializado y periodo de aireación (Dumroese & James, 2005).

**Nota:** adaptado de MAGAP, (2023)

## 2.7 Enfundado del sustrato

El enfundado inicia la fase de crecimiento en bolsa. La Guía Técnica de JICA para el manejo de viveros en Ecuador aconseja bolsas de polietileno negro de al menos 4 × 6 pulgadas, porque la pigmentación oscura reduce la penetración de luz y limita la proliferación de algas en el cepellón, mientras que el tamaño mínimo garantiza volumen suficiente para el desarrollo radicular de la mayoría de especies nativas y exóticas de uso forestal (Kunstmann et al., 1986).

El relleno debe compactarse de forma ligera para conservar una relación aire-agua equilibrada, recomendación que coincide con los valores de porosidad total (50-60 %) y densidad aparente ( $< 0,9 \text{ g cm}^{-3}$ ) propuestos por Landis, Tinus y McDonald para contenedores forestales (MAGAP, 2023).

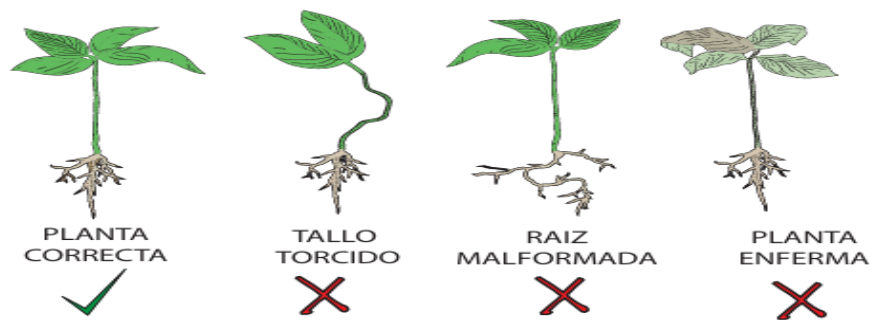
## 2.8 Repique: poda radicular, manipulación y trasplante

El repique consiste en transferir plántulas de semillero a las fundas, con tres pasos técnicos:

1. **Poda de raíces** para suprimir raíces pivotantes excesivas y estimular la emisión de laterales finas; estudios sobre pino silvestre y otras coníferas demuestran que esta práctica mejora la estabilidad post-plantación y evita el enrollamiento radicular (Kunstmann et al., 1986)
2. **Hidratación inmediata:** las plántulas podadas se sumergen en agua para prevenir la desecación de las raíces expuestas, protocolo descrito como indispensable en los manuales de la FAO y el MAG, porque el tejido meristemático pierde turgor con rapidez en climas cálidos (Orozco et al., 2010).
3. **Perforación central** del sustrato con repicador y colocación vertical del tallo, de modo que el cuello de la raíz quede al ras de la superficie; esta profundidad evita cámaras de aire y asegura una adecuada anastomosis entre raíces y sustrato (Adame-García et al., 2024).

El procedimiento debe ejecutarse en un ambiente sombreado y, preferentemente, durante las primeras horas de la mañana, cuando la temperatura y la evaporación resultan mínimas; esta recomendación reduce el shock hídrico y térmico asociado al trasplante (Villanueva, 2006).

**Figura 4.** *Repicado correcto para obtener plantas sanas*



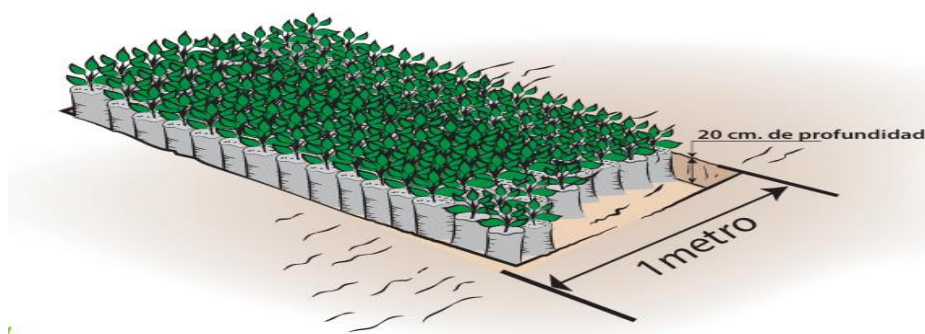
**Nota:** tomado de MAATE (2023)

## 2.9 Adaptación o endurecimiento inicial

Después de 15 días de repique, las plántulas requieren un periodo de sombra filtrada bajo túneles de sarán o techos de paja que permitan irradiación indirecta; dicha estrategia disminuye el estrés foto-térmico, reduce la demanda hídrica y promueve la transición fisiológica hacia la lignificación del tallo, reportada como fase esencial del “hardening” en las guías de acondicionamiento de la USDA (Rueda-Sánchez et al., 2012).

La exposición gradual a mayor luminosidad, combinado con riegos finos mediante regadera, incrementa la capacidad estomática de autoregulación y prepara a la planta para la etapa de rustificación final (Puértolas et al., 2009).

**Figura 5.** *Camas de crecimiento de plantas forestales*



**Nota:** tomado de MAATE (2023)

## 2.10 Importancia operativa y silvícola

Integrar contenedores adecuados, poda radicular oportuna y un programa de adaptación escalonada aporta beneficios demostrados:

- Aumento de supervivencia pos-trasplante por mejor relación raíz/superficie foliar (MAGAP, 2023).
- Crecimiento uniforme que facilita la selección de planta comercial y reduce costos de inventario (Kunstmann et al., 1986).
- Raíces bien distribuidas que evitan defectos estructurales y elevan la estabilidad mecánica del futuro árbol (Rueda-Sánchez et al., 2014).
- Menor incidencia de patógenos gracias a un sustrato aireado y a la reducción del exceso de humedad durante el endurecimiento (MAGAP, 2023).

## 2.11 Importancia forestal y económica de la caoba

La caoba (*S. macrophylla* King) fue considerada una de las especies forestales tropicales de mayor valor comercial a nivel mundial debido a la alta calidad de su madera, caracterizada por su durabilidad, estabilidad dimensional y atractivo estético (Negreros-Castillo et al., 2010). Estas propiedades favorecieron su uso en la fabricación de muebles finos, ebanistería, carpintería de lujo y elementos estructurales, lo que generó una intensa presión extractiva sobre las poblaciones naturales, especialmente en América Latina (García et al., 2011).

En el contexto actual, la caoba representó un recurso estratégico para los sistemas forestales productivos, no solo por su valor económico, sino también por su potencial en programas de reforestación y restauración ecológica, orientados a la sostenibilidad y conservación de bosques tropicales (Fidel-Alarcón, 2022).

### 2.11.1 Clasificación taxonómica

**Tabla 8.** Clasificación taxonómica de la caoba (*Swietenia macrophylla* King)

Categoría taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta (Angiospermae)
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Meliaceae
Género	<i>Swietenia</i>
Especie	<i>Swietenia macrophylla</i> King
Nombre común	Caoba, caoba de hoja grande
Nombre científico	<i>Swietenia macrophylla</i> King

**Nota:** adaptado de Tacoronte et al. (2004)

### **2.11.2 Características morfológicas**

La caoba se describió como un árbol de gran tamaño, capaz de alcanzar alturas superiores a los 35 m y diámetros considerables a la altura del pecho. Su fuste fue generalmente recto y cilíndrico, condición que incrementó su valor maderable (Pérez-González et al., 2012). La copa presentó una conformación amplia y redondeada, lo que favoreció la captación de radiación solar en ambientes de bosque semiabierto (Fidel-Alarcón, 2022).

Las hojas se caracterizaron por ser alternas y compuestas, predominantemente paripinnadas, con folíolos de forma lanceolada a ovada y márgenes enteros (Pérez-González et al., 2012). Estas características morfológicas facilitaron su identificación botánica y evidenciaron adaptaciones propias de especies arbóreas de climas tropicales húmedos (Corea-Arias et al., 2020).

### **2.11.3 Requerimientos ecológicos y distribución**

*S. macrophylla* se desarrolló de forma óptima en regiones tropicales con temperaturas cálidas, precipitaciones moderadas a altas y suelos bien drenados (Valladolid-Ontaneda et al., 2017). La especie mostró preferencia por suelos profundos, de textura franca a franco-arcillosa, con buena disponibilidad de nutrientes (Negreros-Castillo et al., 2010). Su distribución natural abarcó amplias zonas de Centroamérica y Sudamérica, aunque su presencia actual se vio reducida por la sobreexplotación y el cambio de uso del suelo (Corea-Arias et al., 2020).

## **2.12 Rol ecológico y sostenibilidad**

Desde una perspectiva ecológica, la caoba desempeñó un papel relevante en la estructura y dinámica de los bosques tropicales, contribuyendo a la regulación microclimática, la protección del suelo y el mantenimiento de la biodiversidad (Pérez-González et al., 2012). En sistemas agroforestales, su incorporación permitió mejorar la captura de carbono y diversificar la producción, fortaleciendo la resiliencia de los sistemas productivos (Fidel-Alarcón, 2022).

La necesidad de implementar prácticas de manejo forestal sostenible resultó fundamental para garantizar la conservación de la especie, promoviendo la reforestación, el manejo silvicultural adecuado y el control de la tala ilegal (Pérez-González et al., 2012).

### **2.13 Características morfológicas**

La caoba se describió como un árbol de gran tamaño, capaz de alcanzar alturas superiores a

los 35 m y diámetros considerables a la altura del pecho (Patiño et al., 2013). Su fuste fue generalmente recto y cilíndrico, condición que incrementó su valor maderable. La copa presentó una conformación amplia y redondeada, lo que favoreció la captación de radiación solar en ambientes de bosque semiabierto (Corea-Arias et al., 2020).

Las hojas se caracterizaron por ser alternas y compuestas, predominantemente paripinnadas, con folíolos de forma lanceolada a ovada y márgenes enteros (Chuquizuta & Rodríguez, 2020a). Estas características morfológicas facilitaron su identificación botánica y evidenciaron adaptaciones propias de especies arbóreas de climas tropicales húmedos (Tacoronte et al., 2004).

#### **2.14 Requerimientos ecológicos y distribución**

*S. macrophylla* se desarrolló de forma óptima en regiones tropicales con temperaturas cálidas, precipitaciones moderadas a altas y suelos bien drenados. La especie mostró preferencia por suelos profundos, de textura franca a franco-arcillosa, con buena disponibilidad de nutrientes (Tacoronte et al., 2004). Su distribución natural abarcó amplias zonas de Centroamérica y Sudamérica, aunque su presencia actual se vio reducida por la sobreexplotación y el cambio de uso del suelo (Corea-Arias et al., 2020).

#### **2.15 Rol ecológico y sostenibilidad**

Desde una perspectiva ecológica, la caoba desempeñó un papel relevante en la estructura y dinámica de los bosques tropicales, contribuyendo a la regulación microclimática, la protección del suelo y el mantenimiento de la biodiversidad (Tacoronte et al., 2004). En sistemas agroforestales, su incorporación permitió mejorar la captura de carbono y diversificar la producción, fortaleciendo la resiliencia de los sistemas productivos (Corea-Arias et al., 2020).

La necesidad de implementar prácticas de manejo forestal sostenible resultó fundamental para garantizar la conservación de la especie, promoviendo la reforestación, el manejo silvicultural adecuado y el control de la tala ilegal (Patiño et al., 2013).

### **ESTADO DEL ARTE**

Los sistemas de producción forestal desempeñaron un papel fundamental en la provisión de bienes y servicios ecosistémicos, contribuyendo tanto al bienestar humano como a la mitigación del cambio climático. En este contexto, se desarrolló una investigación orientada a evaluar el crecimiento inicial de clones de caoba (*S. macrophylla*) bajo condiciones de invernadero, en

respuesta a la fertilización química. El estudio se estructuró mediante un diseño de bloques completos al azar, considerando seis tratamientos y cinco repeticiones, donde los tratamientos se definieron por la omisión individual de nutrientes esenciales: nitrógeno (N), boro (B), calcio (Ca), zinc (Zn) y magnesio (Mg). Durante un periodo de siete meses se evaluó el incremento en el diámetro basal y la altura total de las plantas. Los resultados no evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados; sin embargo, el análisis del peso del efecto permitió identificar una respuesta diferenciada del crecimiento frente a la ausencia de determinados nutrientes. En particular, la omisión de nitrógeno, seguida por zinc y magnesio, se asoció con las mayores limitaciones en el desarrollo de las plantas. Estos hallazgos indicaron la importancia de asegurar la presencia de dichos elementos en los programas de fertilización de clones de caoba producidos en condiciones de invernadero (Ávila et al., 2025).

La caoba (*S. macrophylla* King) presentó requerimientos nutricionales específicos para alcanzar adecuados estándares de calidad durante su etapa de crecimiento en vivero forestal. En este contexto, se desarrolló un estudio orientado a evaluar la respuesta de plántulas de caoba a la aplicación de extractos foliares de *Ricinus communis* L., *Solanum torvum* Sw. y frutos de *Solanum mammosum* L., considerando su potencial como alternativas orgánicas para mejorar el desarrollo vegetal. Las variables evaluadas incluyeron indicadores morfológicos, como las tasas de crecimiento en altura y diámetro del tallo, así como la longitud y el número de raíces; además de variables de calidad, entre ellas el peso seco, el índice de robustez y el índice de calidad de Dickson. Las evaluaciones se efectuaron de manera quincenal durante un periodo de 60 días. Los resultados evidenciaron incrementos superiores al 38 % en las tasas de crecimiento y en el peso seco de las plántulas tratadas, en comparación con el testigo. Entre los tratamientos evaluados, el extracto de *Ricinus communis* mostró los mejores resultados, alcanzando el mayor índice de calidad de Dickson (0,28), lo que permitió identificarlo como la alternativa orgánica más eficiente para mejorar el crecimiento y la calidad de plántulas de caoba en vivero forestal (Chuquizuta & Rodríguez, 2020a).

La caoba (*S. macrophylla*) fue reconocida como una especie forestal maderable de alto valor, ampliamente utilizada por las propiedades físicas y estéticas de su madera, entre las que destacaron su resistencia, durabilidad y calidad. Sin embargo, la explotación intensiva y la aplicación de sistemas de aprovechamiento inadecuados provocaron una marcada reducción de la variabilidad genética de la especie, lo que limitó el desarrollo e implementación de programas de mejoramiento genético en el Ecuador. Ante esta problemática, el cultivo in vitro se consolidó

como una alternativa biotecnológica viable para contribuir a la conservación y multiplicación de la caoba, mediante la obtención de plantas con adecuada estabilidad y vigor genético. En este contexto, una investigación tuvo como objetivo establecer un protocolo eficiente para la propagación in vitro de caoba a partir de segmentos nodales, evaluando diferentes concentraciones de hipoclorito de calcio  $[\text{Ca}(\text{ClO})_2]$  y tiempos de exposición durante la fase de establecimiento. Los resultados evidenciaron que la desinfección con 15 g de  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  durante 20 minutos permitió un control efectivo de la contaminación microbiana, alcanzando un 95 % de sobrevivencia de los explantes. Posteriormente, los tejidos sanos fueron transferidos a un medio de cultivo MS reducido a la mitad (MS/2), suplementado con diferentes concentraciones de bencilaminopurina (BAP) y ácido indolbutírico (AIB), observándose una respuesta favorable en la fase de multiplicación, con un 70 % de brotes al emplear  $2 \text{ mg L}^{-1}$  de BAP combinados con  $1 \text{ mg L}^{-1}$  de AIB (Patiño et al., 2013).

La caoba (*S. macrophylla* King) constituyó una de las especies forestales más valoradas por la alta calidad de su madera; sin embargo, su permanencia se vio comprometida debido a la deforestación indiscriminada, la limitada capacidad de regeneración natural y el severo daño ocasionado por el barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella* Zell., Lepidoptera: Pyralidae). Ante este escenario, se planteó la propagación masiva de la especie mediante técnicas de cultivo in vitro como una alternativa para incrementar su población y contribuir a su conservación. El estudio evaluó la respuesta de segmentos nodales de caoba cultivados en un medio Murashige y Skoog reducido al 50 % de su fuerza iónica (MS/2), suplementado con diferentes combinaciones de ácido naftalenacético (ANA) y 6-benciladenina (BA). Las concentraciones hormonales, comprendidas entre 0 y  $3 \text{ mg L}^{-1}$  para ambas fitohormonas, fueron establecidas mediante un diseño estadístico Compuesto Central Rotable (CCR). El análisis de la superficie de respuesta permitió identificar una combinación óptima para el alargamiento de yemas laterales, correspondiente a  $0,38 \text{ mg L}^{-1}$  de ANA y  $1,94 \text{ mg L}^{-1}$  de BA. No obstante, la metodología aplicada posibilitó la obtención de plántulas de caoba con capacidad de aclimatación, evidenciando la viabilidad del protocolo la micropropagación de la especie (Tacoronte et al., 2004).

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 3.1 Descripción del sistema

Para la ejecución del presente estudio se implementó un sistema de control ambiental en vivero forestal, orientado al establecimiento y evaluación de plántulas de caoba (*S. macrophylla* King) bajo diferentes condiciones de cobertura y niveles de sombra parcial. El sistema estuvo conformado por dos estructuras tipo macrotúnel, cada una con dimensiones aproximadas de 9 m × 9 m (81 m<sup>2</sup>), destinadas a generar ambientes contrastantes de desarrollo durante la etapa inicial de crecimiento de las plántulas.

Las estructuras fueron construidas sobre una superficie previamente nivelada, con cimentación puntual a base de concreto simple, lo que garantizó la estabilidad estructural y una adecuada distribución de cargas. Cada macrotúnel se conformó mediante arcos metálicos galvanizados de 2" de diámetro, ensamblados con codos de 45° y unidos longitudinalmente por correas estructurales, proporcionando rigidez y resistencia frente a las condiciones climáticas propias del trópico húmedo.

El anclaje inferior de la estructura se realizó mediante la aplicación de cemento Portland, arena fina y ripio, asegurando una fijación firme al suelo y minimizando el riesgo de desplazamientos por acción del viento o tensión del material de cobertura. Los elementos estructurales fueron seleccionados por su durabilidad y bajo requerimiento de mantenimiento, lo que permitió mantener condiciones homogéneas durante todo el periodo experimental.

El primer módulo correspondió al tratamiento bajo macrotúnel con malla sarán, utilizada como cobertura para generar sombra parcial. La malla, fabricada en polietileno de alta densidad con protección contra radiación ultravioleta, permitió regular la entrada de radiación solar y favorecer la ventilación natural, creando un microclima adecuado para el desarrollo morfológico y fisiológico de las plántulas de caoba en vivero.

El segundo módulo fue cubierto con lámina plástica transparente tipo infralene, instalada de forma tensada mediante abrazaderas metálicas y cable acerado. Esta cobertura favoreció la retención térmica y la acumulación de calor, generando un efecto invernadero que permitió evaluar la respuesta de las plántulas de caoba a condiciones de mayor temperatura y menor intercambio gaseoso, en comparación con el macrotúnel con sarán.

Como tratamiento adicional, se consideró el cultivo a cielo abierto, sin ningún tipo de cobertura, el cual sirvió como referencia para contrastar el comportamiento de las plántulas expuestas directamente a las condiciones ambientales naturales del vivero. El conjunto experimental se ubicó en un área con exposición directa al sol, con una temperatura ambiental promedio de  $30 \pm 2$  °C, lo que permitió realizar comparaciones entre ambientes controlados y no controlados.

**Tabla 9.** Desglose de gastos de implementación de los macrotúneles para plántulas de caoba

Ítem	Especificación	Cantidad	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Tubo galvanizado 2" (6 m)	Arcos, correas y arriostres	24	9,50	228,00
Codos galvanizados 45°	Uniones estructurales	10	3,00	30,00
Abrazaderas metálicas	Fijación de cobertura	120	0,40	48,00
Cable acerado 3/16"	Tensado y amarres	46	0,75	34,50
Tornillos y tuercas galvanizados	Ensamble estructural	80	0,15	12,00
Cemento Portland (50 kg)	Anclaje de base	2	8,50	17,00
Arena fina	Mezcla de anclaje	0,3	22,00	6,60
Malla sarán 70 %	Cobertura (89,1 m <sup>2</sup> )	89,1	1,85	164,84
Mano de obra	Montaje (3 jornales)	3	30,00	90,00
Transporte	Flete local	1	25,00	25,00
<b>Subtotal</b>				<b>655,94</b>
<b>IVA 15 %</b>				<b>98,39</b>
<b>TOTAL</b>				<b>754,33</b>

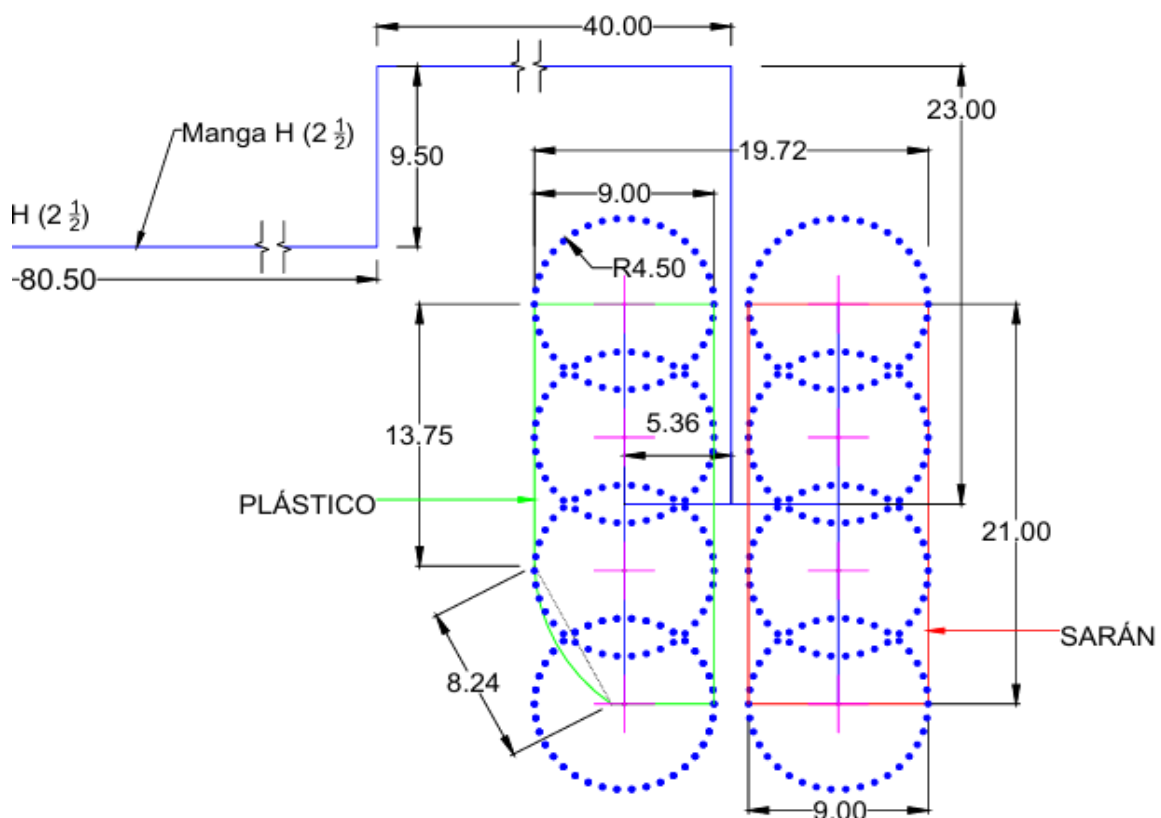
El costo total estimado para la implementación del sistema estructural de los macrotúneles fue de USD 754,33, evidenciándose que la mayor proporción del presupuesto correspondió a los componentes metálicos de soporte. Los tubos galvanizados representaron el 30,2 % del costo total, seguidos por los elementos de unión y fijación, que concentraron aproximadamente el 16,6 %. La malla sarán, empleada como cobertura para el tratamiento de sombra parcial,

representó el 21,8 % del presupuesto, mientras que la mano de obra especializada correspondió al 11,9 % del total invertido.

Los costos asociados a anclaje, cimentación y transporte representaron porcentajes menores, reflejando un sistema con alta durabilidad estructural y bajo requerimiento de insumos recurrentes. Desde una perspectiva de inversión en infraestructura agroforestal, el sistema implementado presentó un perfil técnico viable y económicamente sostenible para la producción de plántulas de caoba en vivero, bajo condiciones del trópico húmedo.

En este sentido, la propuesta permitió disponer de ambientes contrastantes para evaluar el efecto de la sombra parcial sobre el crecimiento y la sanidad de las plántulas de caoba, aportando información técnica relevante para el diseño de viveros forestales y programas de reforestación en la región.

**Figura 6.** Esquema constructivo del macrotúnel con coberturas de sarán y plástico



### 3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El diseño tecnológico se estructuró bajo criterios de eficiencia estructural, sostenibilidad ambiental y control microclimático, con el propósito de garantizar condiciones homogéneas

para el desarrollo vegetativo de plántulas de caoba (*S. macrophylla* King) en etapa de vivero. La selección de tecnologías respondió a las exigencias de un sistema agroambiental capaz de regular la radiación solar, optimizar el uso del agua y mantener condiciones adecuadas de temperatura y humedad, reduciendo el estrés fisiológico durante las primeras fases de crecimiento.

En la fase estructural, se optó por el uso de materiales galvanizados debido a su alta resistencia a la corrosión, prolongada vida útil y bajo requerimiento de mantenimiento, características indispensables en ambientes húmedos propios del trópico.

**Figura 7.** *Instalación de la cubierta plástica en macrotúnel para la protección y manejo de plántulas en vivero*



**Figura 8.** *Instalación de la cubierta de malla sarán en macrotúnel para la protección y manejo de plántulas en vivero*



Estos materiales presentaron, además, una adecuada compatibilidad con cubiertas plásticas y mallas de polietileno, lo que permitió la conformación de macrotúneles funcionales y estables. La selección de la malla sarán con un 70 % de sombra se fundamentó en su capacidad para reducir la radiación solar incidente sin limitar significativamente la ventilación, favoreciendo un microclima más estable y condiciones adecuadas para el crecimiento equilibrado de las plántulas de caoba.

Por su parte, la cubierta plástica tipo infralene permitió generar un ambiente con mayor retención térmica, facilitando la comparación de respuestas fisiológicas y morfológicas frente a distintos niveles de cobertura.

**Tabla 10.** *Materiales e insumos utilizados para la construcción del macrotúnel y establecimiento del vivero de caoba*

<b>Categoría</b>	<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Estructura metálica</b>	Tubo galvanizado 2" (6 m)	unid	24
	Codos galvanizados 90°	unid	10
	Abrazaderas metálicas	unid	120
	Cable acerado 3/16"	m	46
	Tornillos y tuercas galvanizados	unid	80
<b>Base y anclaje</b>	Cemento Portland (50 kg)	saco	2
	Arena fina	m <sup>3</sup>	0,3
<b>Mano de obra y montaje</b>	Mano de obra	jornal	3
<b>Coberturas del macrotúnel</b>	Lámina infralene calibre 7	m <sup>2</sup>	89,1
	Malla sarán 70 %	m <sup>2</sup>	89,1
<b>Implementos de vivero</b>	Semilla de caoba ( <i>S. macrophylla</i> King)	unidad	—

### 3.3 Plan de implementación

<b>Descripción</b>	<b>Funcionamiento</b>
<b>Preparación del sustrato</b>	Se elaboró un sustrato a partir de una mezcla homogénea compuesta por cuatro carretilladas de tierra agrícola, tres sacas de bovinaza previamente descompuesta, una saca de aserrín, un saquillo de cal agrícola y dos sacos de tierra de montaña. Los materiales fueron mezclados manualmente hasta

<b>Descripción</b>	<b>Funcionamiento</b>
<b>Preparación de la semilla</b>	<p>lograr uniformidad, con el fin de mejorar la estructura física del sustrato, favorecer la retención de humedad y aportar nutrientes para el desarrollo inicial de las plántulas.</p> <p>Las semillas de caoba fueron sometidas a un proceso de pretratamiento mediante remojo en agua durante 12 horas, posteriormente se retiraron por una hora para facilitar la oxigenación y se volvieron a remojar por otras 12 horas antes de la siembra, con el objetivo de estimular y uniformizar la germinación.</p>
<b>Siembra en fundas</b>	<p>El sustrato preparado se colocó en fundas plásticas negras destinadas al vivero forestal. En cada funda se sembró una semilla de caoba, asegurando una profundidad adecuada y un contacto directo con el sustrato, para favorecer la absorción de humedad durante el proceso de germinación.</p>
<b>Germinación</b>	<p>La germinación de las semillas de caoba se registró entre los 13 y 15 días posteriores a la siembra, dependiendo de las condiciones ambientales del vivero. Durante este periodo se mantuvo una humedad constante del sustrato, evitando encharcamientos.</p>
<b>Desarrollo inicial</b>	<p>La aparición de las hojas verdaderas se observó entre los 9 y 11 días posteriores a la germinación, marcando el inicio de la fase de establecimiento de las plántulas bajo los diferentes tratamientos de cobertura.</p>
<b>Manejo en vivero</b>	<p>Las plántulas fueron manejadas bajo los tratamientos definidos (macrotúnel con malla sarán, macrotúnel con cubierta plástica y cielo abierto), manteniendo un manejo agronómico homogéneo en cuanto a riego y control sanitario.</p>
<b>Registro de datos</b>	<p>La toma de datos se realizó durante un periodo total de 60 días, efectuándose evaluaciones cada 15 días posteriores a la germinación, registrándose las variables morfológicas, fisiológicas y sanitarias establecidas en el estudio.</p>

### **3.4 Resultados**

#### **3.4.1 Días a la germinación**

El análisis de los días a la germinación mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos ( $p = 0,0001$ ;  $CV = 6,99 \%$ ). El tratamiento con malla sarán

registró el menor número de días a la germinación ( $10,75 \pm 0,42$  días), seguido por el tratamiento con cubierta plástica ( $11,75 \pm 0,42$  días), mientras que el tratamiento a campo abierto presentó el mayor número de días ( $14,25 \pm 0,42$  días).

**Tabla 11.** *Días a la germinación bajo diferentes condiciones de cobertura*

<b>Tratamiento</b>	<b>Días a la germinación</b>	<b>E.E.</b>		
Sarán	10,75	0,42	a	
Plástico	11,75	0,42		b
Campo abierto	14,25	0,42		c
<b>CV (%)</b>		6,99		
<b>p-valor</b>		0,0001		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

De acuerdo con Acosta-López et al. (2011), la germinación de *S. macrophylla* estuvo claramente influenciada por el tratamiento pregerminativo aplicado. El ácido giberélico permitió acelerar el proceso germinativo, registrando un promedio de 21,02 días, mientras que el peróxido de hidrógeno presentó un tiempo similar de 22,28 días, aunque con menor porcentaje de germinación. En contraste, el tratamiento testigo mostró una germinación más lenta, con un promedio de 26,07 días, y el uso de agua caliente no permitió la germinación de las semillas, dichos resultados son inferiores a los encontrados en el presente estudio.

### 3.4.2 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos ( $p = 0,0001$ ;  $CV = 12,36$  %). El tratamiento con malla sarán registró la media más alta de germinación ( $87,75 \pm 0,42$  %), mientras que el tratamiento a campo abierto presentó la media más baja ( $79,95 \pm 0,42$  %), evidenciándose una clara influencia de las condiciones de cobertura sobre el proceso germinativo.

**Tabla 12.** *Porcentaje de germinación bajo diferentes condiciones de cobertura*

<b>Tratamiento</b>	<b>Porcentaje de germinación</b>	<b>E.E.</b>		
Sarán	87,75	0,42	a	
Plástico	83,14	0,42		b
Campo abierto	79,95	0,42		c
<b>CV (%)</b>		12,36		
<b>p-valor</b>		0,0001		

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Acosta-López et al. (2011) encontró que el uso de ácido giberélico presentó el mejor comportamiento, alcanzando un 92 % de germinación, resultados que fueron superiores a los

obtenidos en el presente estudio; sin embargo, el remojo de la semilla durante 1 a 2 horas en agua tibia permitió incrementar la germinación hasta 87,75 % bajo malla sarán, evidenciando que este tratamiento constituyó una alternativa eficiente para favorecer el proceso germinativo.

### 3.4.3 Porcentaje de supervivencia e incidencia de *damping-off*

El porcentaje de supervivencia no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, registrándose valores elevados en todos los casos, con una media general de 98,33 % y un coeficiente de variación de 3,21 %, lo que evidenció una adecuada uniformidad experimental. La incidencia de *damping-off* fue mínima y únicamente se observó en el tratamiento a campo abierto, donde se afectaron dos plantas, mientras que bajo condiciones de malla sarán y plástico no se registraron síntomas de la enfermedad.

**Tabla 13.** Porcentaje de supervivencia e incidencia de *damping-off* en plántulas bajo diferentes condiciones de cultivo

Tratamientos	Supervivencia (%)	Incidencia de <i>damping-off</i>
Malla sarán	100 a	No se observó
Plástico	100 a	No se observó
Campo abierto	95 a	2 plantas afectadas
Media general	98,33	—
CV (%)	3,21	—

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La elevada supervivencia registrada en todos los tratamientos indicó que las condiciones de vivero resultaron adecuadas para el establecimiento inicial de las plántulas (Villanueva, 2006). La aparición de *damping-off* únicamente en el tratamiento a campo abierto pudo atribuirse a una mayor exposición a fluctuaciones de humedad y temperatura, factores que favorecen el desarrollo de patógenos asociados a esta enfermedad (MAATE, 2014).

### 3.4.4 Número de hojas

El mayor número de hojas se registró de manera consistente en el tratamiento con malla sarán en todas las evaluaciones realizadas. A los 15 días, este tratamiento alcanzó  $3,25 \pm 0,20$  hojas, manteniendo el valor más alto junto con plástico; a los 30 días, presentó el mayor número de hojas con  $7,25 \pm 0,46$ ; a los 45 días, alcanzó  $9,20 \pm 0,40$ ; y a los 60 días, registró el valor más alto con  $11,76 \pm 0,10$  hojas por plántula. Aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p > 0,05$ ), estos resultados evidenciaron una tendencia favorable del uso de malla sarán para el desarrollo foliar de las plántulas.

**Tabla 14.** *Número de hojas por plántula bajo diferentes condiciones de cultivo*

Tratamientos	Número de hojas			
	15 días	30 días	45 días	60 días
Sarán	3,25 ± 0,2	7,25 ± 0,46	9,20 ± 0,40	11,76 ± 0,10
Plástico	3,25 ± 0,2	7,05 ± 0,46	8,92 ± 0,40	10,78 ± 0,10
Campo abierto	3,01 ± 0,2	6,95 ± 0,46	8,20 ± 0,40	10,08 ± 0,10
<b>CV (%)</b>	12,51	14,08	12,9	18,09
<b>p-valor</b>	0,532	0,6338	0,6224	0,1892

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Al comparar el número de hojas a los 30 días, los resultados reportados por Acosta-López et al. (2011) evidenciaron que el sustrato polvillo de coco alcanzó el mayor número de hojas por planta (9,8 hojas), datos que resultaron similares a los reportados en el presente estudio, donde el tratamiento con malla sarán registró el mayor número de hojas ( $7,25 \pm 0,46$ ).

### 3.4.5 Diámetro del tallo (mm)

El diámetro del tallo presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos a los 15, 45 y 60 días ( $p < 0,05$ ), mientras que a los 30 días no se detectaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). A los 15 días, la media más baja correspondió al tratamiento con malla sarán ( $2,63 \pm 0,10$  mm), mientras que la media más alta se registró en plástico ( $3,08 \pm 0,10$  mm). A los 30 días, al no presentarse diferencias estadísticas, se reportó únicamente la media más alta, observada en el tratamiento con plástico ( $3,20 \pm 0,10$  mm).

A los 45 días, el tratamiento con malla sarán presentó la media más baja ( $3,07 \pm 0,09$  mm), mientras que la media más alta se registró nuevamente en plástico ( $3,83 \pm 0,09$  mm). Finalmente, a los 60 días, la media más baja correspondió a malla sarán ( $3,20 \pm 0,07$  mm), en contraste con el tratamiento con plástico, que alcanzó la media más alta ( $4,01 \pm 0,07$  mm).

**Tabla 15.** *Diámetro (mm) del tallo de plántulas de caoba (*S. macrophylla*) bajo diferentes condiciones de cobertura en vivero*

Tratamientos	Diámetro del tallo			
	15 días (mm)	30 días (mm)	45 días (mm)	60 días (mm)
Sarán	2,63 ± 0,10 b	2,80 ± 0,10 a	3,07 ± 0,09 b	3,20 ± 0,07 b
Plástico	3,08 ± 0,10 a	3,20 ± 0,10 a	3,83 ± 0,09 a	4,01 ± 0,07 a
Campo abierto	2,83 ± 0,10 ab	3,05 ± 0,10 a	3,45 ± 0,09 a	3,83 ± 0,07 a
<b>CV (%)</b>	7,06	7,06	5,51	3,98
<b>p-valor</b>	0,0339	0,2515	0,0016	0,0078

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Los resultados reportados por Acosta-López et al. (2011), evidenciaron que el tipo de

sustrato influyó significativamente en la longitud y el diámetro del tallo de las plántulas de caoba, destacándose el polvillo de coco como el tratamiento con mejor comportamiento, al alcanzar una longitud de 8,23 cm (82,3 mm) y un diámetro de 0,167 cm (1,67 mm). Al comparar estos valores con los obtenidos en el presente estudio, donde el diámetro del tallo alcanzó valores superiores en milímetros bajo condiciones de plástico y campo abierto.

### 3.4.6 Altura de la planta (cm)

La altura de las plántulas de caoba (*S. macrophylla*) presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en todas las evaluaciones realizadas a los 15, 30, 45 y 60 días ( $p < 0,05$ ). A los 15 días, la media más baja se registró en el tratamiento con malla sarán ( $14,13 \pm 0,65$  cm), mientras que la media más alta correspondió al tratamiento con plástico ( $17,13 \pm 0,65$  cm). A los 30 días, el tratamiento con malla sarán presentó nuevamente la media más baja ( $15,25 \pm 0,45$  cm), en contraste con el tratamiento con plástico, que alcanzó la media más alta ( $17,50 \pm 0,45$  cm).

A los 45 días, la media más baja se observó en malla sarán ( $15,25 \pm 0,37$  cm), mientras que el tratamiento con plástico registró la media más alta ( $18,00 \pm 0,37$  cm). Finalmente, a los 60 días, el tratamiento con malla sarán presentó la media más baja ( $16,25 \pm 0,26$  cm), mientras que el tratamiento con plástico alcanzó la media más alta ( $19,25 \pm 0,26$  cm). Estos resultados evidenciaron que la cobertura plástica favoreció el crecimiento en altura de las plántulas de caoba durante la etapa inicial de desarrollo.

**Tabla 16.** *Altura de plántulas de caoba (S. macrophylla) bajo diferentes condiciones de cobertura en vivero*

Tratamientos	Altura de la planta (cm)			
	15 días (cm)	30 días (cm)	45 días (cm)	60 días (cm)
Sarán	14,13 ± 0,65 b	15,25 ± 0,45 b	15,65 ± 0,37 b	16,25 ± 0,26 b
Plástico	17,13 ± 0,65 a	17,50 ± 0,45 a	18,00 ± 0,37 a	19,25 ± 0,26 a
Campo abierto	15,00 ± 0,65 ab	15,63 ± 0,45 b	15,88 ± 0,37 b	16,50 ± 0,26 b
<b>CV (%)</b>	8,48	5,64	4,52	3,04
<b>p-valor</b>	0,0266	0,0145	0,0013	< 0,0001

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En este contexto, los resultados reportados por Chuquizuta & Rodríguez (2020), indicaron que las plántulas de caoba (*S. macrophylla* King) tratadas con extractos vegetales alcanzaron alturas ubicadas dentro de los rangos de calidad media a alta establecidos para especies

latifoliadas, es decir, valores iguales o superiores a 15 cm, lo que evidenció un crecimiento vegetativo adecuado en vivero.

Los resultados reportados por Díaz et al. (2013), evidenciaron que el tipo de sustrato influyó significativamente en la altura de las plántulas de caoba, registrándose valores aproximados de 25 cm en suelo y hasta 40 cm en sustratos mejorados (suelo + composta), lo que demostró que la disponibilidad de nutrientes y las propiedades físicas del sustrato favorecieron el crecimiento en altura durante la etapa de vivero.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

- El porcentaje de germinación de las plántulas de caoba estuvo condicionado por el ambiente de vivero, determinándose que el macrotúnel con malla sarán permitió una germinación más eficiente en comparación con el macrotúnel plástico y el cielo abierto.
- La sombra parcial influyó de manera diferenciada en el desarrollo morfológico de las plántulas, ya que la malla sarán favoreció el número de hojas, mientras que el macrotúnel plástico promovió un mayor crecimiento en altura y diámetro del cuello del tallo.
- El porcentaje de supervivencia de las plántulas fue alto en todos los tratamientos; sin embargo, la incidencia de *damping-off* se presentó únicamente en el cultivo a cielo abierto, evidenciándose que el uso de coberturas redujo el riesgo sanitario en vivero.
- Al comparar los ambientes de macrotúnel de sarán, macrotúnel plástico y cielo abierto, se concluyó que los sistemas con cobertura generaron condiciones microclimáticas más favorables para el establecimiento y crecimiento inicial de las plántulas de caoba, con respuestas específicas según el tipo de cobertura.

## RECOMENDACIONES

- Implementar macrotúneles con malla sarán durante la etapa de germinación de plántulas de caoba, a fin de reducir los días a la emergencia y mejorar el porcentaje de germinación.
- Utilizar sombra parcial en vivero para favorecer el desarrollo foliar, especialmente durante las primeras fases de crecimiento de las plántulas.
- Emplear cubierta plástica en etapas posteriores del vivero cuando se priorice el crecimiento en altura y el diámetro del cuello del tallo.
- Mantener sistemas de cobertura para disminuir la incidencia de enfermedades como el damping-off y asegurar altos porcentajes de supervivencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-López, Orantes-García, F., Garrido-Ramírez, O., & Ramírez, G. (2011). Germinación y crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) en condiciones de vivero. *LACANDONIA*, 5(1), 13-20.
- Adame, J., Murillo, F., Mario, L., Villega, J., & Cabrera, H. (2021). *Producción De Hortalizas En Macrotúnel Para Mujeres De Zonas Rurales En Veracruz* (Primera Edición, Vol. 1-1). Red iberoamericana de academias de investigación. <https://redibai-myd.org/portal/wp-content/uploads/2021/12/redreducido.pdf>
- Adame-García, J., Murillo-Cuevas, F. D., Fernández-Viveros, J. A., Villegas-Narváez, J., & Cabrera-Mireles, H. (2024). Nodess macrotúneles: Producción sustentable de alimentos para mujeres y familias rurales. *RINDERESU*, 8(1-2), 50-57.
- Aguirre-Medina, J. F., Mendoza-López, A., Cadena-Iñiguez, J., & Avendaño-Arrazate, C. H. (2007). Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8), 541-546.
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A., & Allende, F. (2018). Gallinaza, micorriza arbuscular y fertilización química reducida en la productividad de calabacita y pepino. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 273-279. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.08>
- Álvarez, C., & Sierra, V. (1995). Metodología de la investigación científica. *Santiago de Cuba: Universidad de Oriente*.
- Andrade-Rodríguez, M., Ayala-Hernández, J. J., Alia-Tejacal, I., Rodríguez-Mendoza, H., Acosta-Durán, C. M., & López-Martínez, V. (2008). Efecto de promotores de la germinación y sustratos en el desarrollo de plántulas de papayo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 25(4), 617-635.
- Arce Saavedra, A., & Vallejos Torres, G. (2023). *Repercusión del uso de las sombras en la producción de especies forestales en San Martín*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125026/records/674978017625988a37221576>
- Ávila Arias, C. E., Chinchilla Mora, O., Meza Picado, V. H., Fonseca González, W., Arias Aguilar, D., Ávila Arias, C. E., Chinchilla Mora, O., Meza Picado, V. H., Fonseca González, W., & Arias Aguilar, D. (2025). Respuesta de clones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) a la fertilización química en invernadero. *Colombia Forestal*, 28(1).

<https://doi.org/10.14483/2256201x.21987>

- Ballester, A., Arias, A., Cobián, B., Calvo, E. L., & Vieitez, E. (1982). Estudio de potenciales alelopáticos originados por *Eucalyptus globulus* Labill., *Pinus pinaster* Ait. Y *Pinus radiata* D. *Pastos*, 12(2), 239-254.
- Basave-Villalobos, E., Rosales Mata, S., Sigala Rodríguez, J. Á., Calixto Valencia, C. G., & Sarmiento López, H. (2017). Cambios morfo-fisiológicos de plántulas de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd.) MC Johnst. Ante diferentes ambientes de luz en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 8(44), 112-131.
- Bernaola Paucar, R. M., Zamora Natera, J. F., Vargas Radillo, J. de J., Cetina Alcalá, V. M., Rodríguez Macías, R., Salcedo Pérez, E., Bernaola Paucar, R. M., Zamora Natera, J. F., Vargas Radillo, J. de J., Cetina Alcalá, V. M., Rodríguez Macías, R., & Salcedo Pérez, E. (2016). Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(33), 74-93.
- Bustos, A., Caicedo, D. R., & Cantor, F. (2008). ANDEVA para diseño completamente al azar (DCA). *Revista Facultad de ciencias básicas*, 4(1-2), 143-148.
- Bustos-Salazar, A., & Zuñiga-Feest, A. (2019). Efecto de mallas raschel de colores en el crecimiento de plántulas de *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata* en condiciones de vivero. *Bosque (Valdivia)*, 40(3), 287-298.
- Chuquizuta, P. D., & Rodríguez, O. A. V. (2020a). Crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en respuesta a extractos vegetales. *Agrociencia*, 54(5), 673-681.
- Chuquizuta, P. D., & Rodríguez, O. A. V. (2020b). CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN RESPUESTA A EXTRACTOS VEGETALES. *Agrociencia*, 54(5), 673-681. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2124>
- Corea-Arias, E., Chinchilla-Mora, O., Meza-Picado, V., & Ávila-Arias, C. (2020). Costos cultivo de clones superiores de caoba (*Swietenia macrophylla* King) hasta 4 años de edad en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(41), 94-105.
- Díaz, P., Torres, D., Sanchez, Z., & Arevalo, L. (2013). Comportamiento morfológico de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en respuesta al tipo de sustrato en vivero. *Folia Amazónica*, 22(1-2), 25-33.
- Espeland, E. K., Emery, N. C., Mercer, K. L., Woolbright, S. A., Kettenring, K. M., Gepts, P., & Etterson, J. R. (2017). Evolution of plant materials for ecological restoration: Insights from the applied and basic literature. *Journal of Applied Ecology*, 54(1), 102-115.

- FAO. (2022). *Restauración de incendios forestales en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fidel-Alarcón, G. (2022). Propuesta forestal para la siembra directa de caoba (*Swietenia macrophylla* King) basada en sistemas agroforestales en la Amazonía peruana. *South Sustainability*, 3(1), e056-e056.
- García Cuevas, X., Rodríguez Santiago, B., & Islas Gutiérrez, J. (2011). Evaluación financiera de plantaciones forestales de caoba en Quintana Roo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(7), 7-26.
- García-Fajardo, J., Ramos-Godínez, M. del R., & Mora-Galindo, J. (1999). Estructura de la semilla de aguacate y cuantificación de la grasa extraída por diferentes técnicas. *Revista Chapingo serie horticultura*, 5, 123-128.
- Gaviria-Trujillo, L. F. (2016). *Propuesta de conservación del pepino cohombro (Cucumis Sativus L) utilizando diferentes métodos que eviten su deterioro* [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://hdl.handle.net/11059/7358>
- Gómez, A., Vargas Castillo, P., & Abdelnour Esquivel, A. (2013). Crioconservación de semillas de teca (*Tectona grandis* Lf). *Agronomía Costarricense*, 37(1), 51-60.
- Google Maps. (2025). 0°15'35.0"N 79°25'35.0"W. [https://www.google.com.ec/maps/@-0.2621007,-79.443577,2416m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g\\_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com.ec/maps/@-0.2621007,-79.443577,2416m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)
- Guadalupe, G. D., & Concepción, G. D. (2020). *Metodología de la investigación*. Grupo Editorial Patria.
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos/Am\\_2013.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf).
- Juárez-Mirón, F., López-López, M. Á., Estañol-Botello, E., Juárez-Mirón, F., López-López, M. Á., & Estañol-Botello, E. (2021). Curvas de abastecimiento nutrimental y concentraciones críticas nutrimentales para *Pinus patula* Schl. Et Cham. En etapa de vivero. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.894>
- Kunstmann, E., Osorio, M., & Peredo, H. L. (1986). Identificaciones micológicas en viveros forestales de la X region de Chile. *Bosque*, 7(1), 51-56.
- Leblanc, H., & Márquez, E. (2014). Efecto de los hongos formadores de micorrizas arbusculares en el desarrollo de plantas de cacao en vivero. *Tierra Tropical*, 10(2), 191-

- Li, Q., Zhang, L., He, J., Li, J., Zhang, H., Li, Y., Gu, Y., Luo, H., Lu, M., & Lu, K. (2025). Effects of different shade treatments on *Melaleuca* seedling growth and physiological properties. *BMC Plant Biology*, 25(1), 1-14.
- López-Elías, J., Rodríguez, J. C., Huez, M. A., Garza, S., Jiménez, J., & Leyva, E. I. (2011). Producción y calidad de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo condiciones de invernadero usando dos sistemas de poda. *Idesia (Arica)*, 29(2), 21-27.
- MAATE. (2014). *Guía técnica: Manejo de viveros forestales* (p. 21) [Proyecto de Desarrollo Rural Integral Sostenible en la Provincia de Chimborazo – “Minka Sumak Kawsay”]. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <https://chatgpt.com/c/683f7e05-64d0-800e-8b12-1b32f24ef1f5>
- MAATE. (2023). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, velará por un ambiente sano y el respeto de los derechos de la naturaleza o pacha mama*. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- MAGAP. (2023). *Manual de viveros forestales* (1.<sup>a</sup>). Subsecretaría de Producción Forestal. <https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2023/09/MANUAL-VIVEROS-FORESTALES.pdf>
- Mestre, A. (2009). Primeros conodontes de la Formación Tambolar (Facies Pachaco), Silúrico de la Precordillera Argentina, y sus implicancias bioestratigráficas. *Ameghiniana*, 46(3), 469-479.
- Muñoz, H. J., Sáenz Reyes, J. T., Coria Avalos, V. M., García Magaña, J. de J., Hernández Ramos, J., & Manzanilla Quijada, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 72-89.
- Negreros-Castillo, P., Apodaca-Martínez, M., & Mize, C. W. (2010). Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y bosques*, 16(2), 7-18.
- Nilsson, C., Aradottir, A. L., Hagen, D., Halldórsson, G., Høegh, K., Mitchell, R. J., Raulund-Rasmussen, K., Svavarsdóttir, K., Tolvanen, A., & Wilson, S. D. (2016). Evaluating the process of ecological restoration. *Ecology and Society*, 21(1).
- Orozco, G., Muñoz Flores, H. J., Rueda Sánchez, A., Sígala Rodríguez, J. Á., Prieto Ruiz, J. Á., & García Magaña, J. J. (2010). Diagnóstico de la calidad de planta en los viveros de Colima. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(2), 135-146.
- Patiño, M. S. C., Troya, A. E., Morán, H. R., Carriel, J. M., Rodríguez, J. E. N., Cadme, M. L.,

- Falquez, O. F. C., & Silva, W. F. M. (2013). Propagación clonal in vitro de *Swietenia macrophylla* King (CAOBA). *Ciencia y tecnología*, 6(2), 1-8.
- Pérez González, G., Domínguez-Domínguez, M., Martínez-Zurimendi, P., & Etchevers Barra, J. D. (2012). Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y bosques*, 18(1), 7-24.
- Reyes-Reyes, J., Rodríguez-Morales, J. A., Pérez, M. A. F., Medina, J. F. A., & García, A. M. (2021). Diagnóstico de la calidad de planta en el vivero forestal El Campanario, Tuxtla Chico, Chiapas. *e-CUCBA*, 17, 29-37.
- Rosales Mata, S., Prieto Ruíz, J. Á., García Rodríguez, J. L., Madrid Aispuro, R. E., & Sigala Rodríguez, J. Á. (2015). Preacondicionamiento de *Pinus engelmannii* Carr. Bajo diferentes condiciones ambientales en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 64-71.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides Solorio, J. de D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz Reyeyz, J., Orozco-Gutiérrez, G., & Molina Castañeda, A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14), 69-82.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. de D., Saenz-Reyeyz, J., Muñoz Flores, H. J., Prieto-Ruiz, J. Á., & Orozco Gutiérrez, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 5(22), 58-73.
- Saikia, P., Kumar, A., & Khan, M. L. (2017). Agroforestry: A sustainable land use system for livelihood security and climate change mitigation. *Climate Change and Agroforestry*. New India Publishing Agency, New Delhi, India, 61-70.
- Santelices, R., Herrera, L., & Osoreo, J. (1995). Cultivo en vivero del hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser) bajo diferentes gradientes de luminosidad y espaciamiento. *Ciencias Forestales*, 10, 3-13.
- Silva-Pando, F. J. (2022). La introducción y expansión del eucalipto en la península ibérica. *Foresta*, 82, 42-49.
- Tacoronte, M., Vielma, M., Mora, A., & Valecillos, C. (2004). Propagación in vitro de caoba (*Swietenia macrophylla* King) a partir de yemas axilares. *Acta Científica Venezolana*, 55, 7-12.
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., Bordács, S., Smith, P., & Bozzano, M. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333, 66-75.
- Valladolid Ontaneda, J., León Mejía, Á., & Paredes Tomalá, D. (2017). Selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de la península de Santa Elena. Ecuador. *Revista*

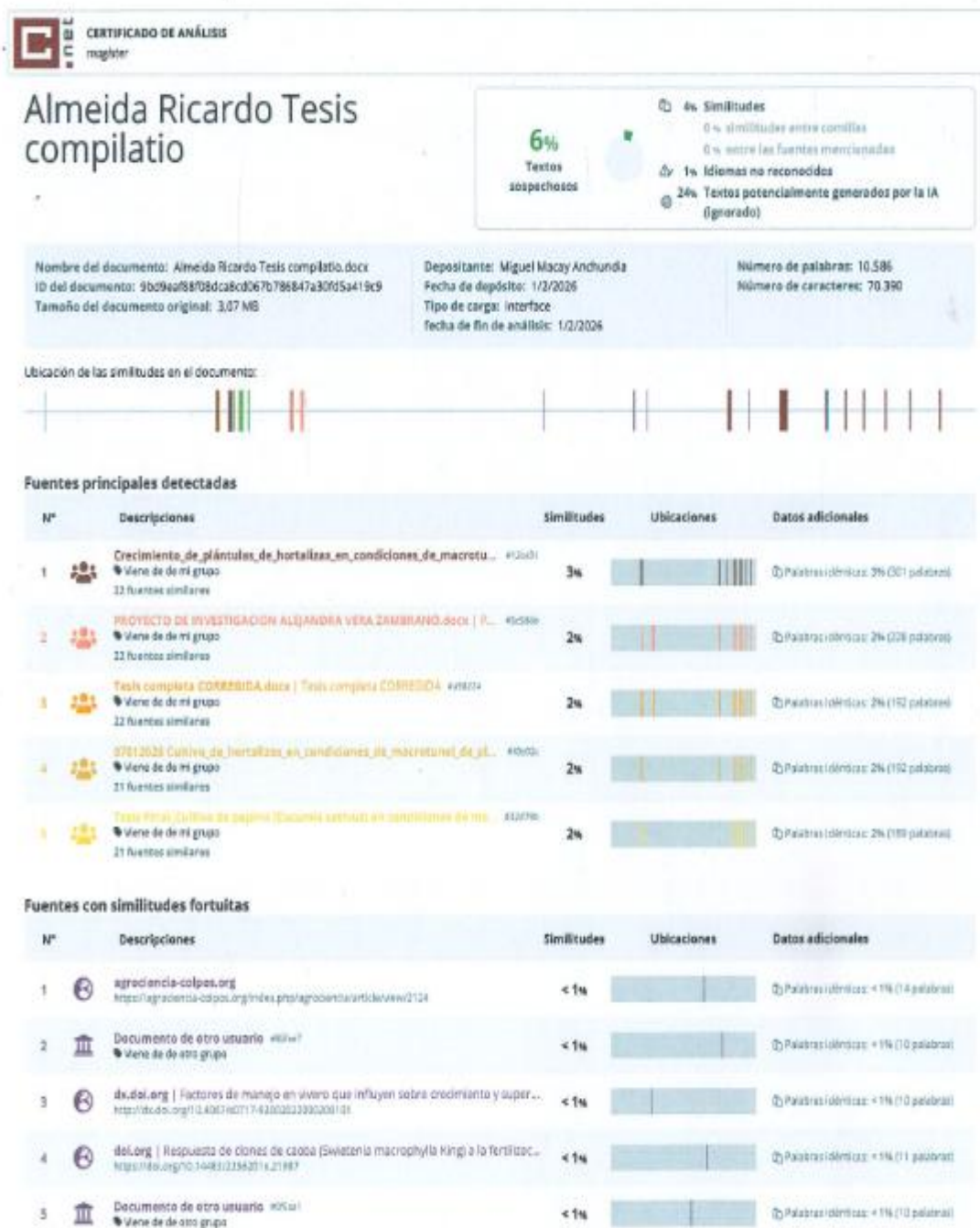
*Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 4(2), 105-110.

Villalón-Mendoza, H. (2016). Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canby* Trel.(encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), 46-52.

Villanueva, Ó. G. G. (2006). Situación actual de los viveros forestales. *Horticultura internacional*, 1, 26-31.

# ANEXOS

## Anexo 1. Certificado de análisis de similitud



## Anexo 2. Instalación de la cubierta plástica y sarán en el macrotúnel del vivero para la

*producción de plántulas de caoba*



**Anexo 3.** *Emergencia y establecimiento inicial de plántulas de caoba en fundas de vivero bajo condiciones experimentales*



**Anexo 4.** *Preparación del área experimental y organización del vivero para el establecimiento de plántulas de caoba (Swietenia macrophylla King)*



**Anexo 5.** *Medición del diámetro del cuello del tallo en plántulas de caoba durante la fase de evaluación morfológica en vivero*



**Anexo 6.** *Evaluación de la altura de plántulas de caoba mediante cinta métrica bajo condiciones experimentales*

