



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**

**“Tratamientos pregerminativos en especies forestales nativas
del trópico húmedo”**

AUTOR: Miguel Ángel Chica Cedeño

TUTOR: Ing. Francel Xavier López Mejía, PhD.

El Carmen, septiembre del 2025

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página II de 2

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 **Miguel Ángel Chica Cedeño**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025 (1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Tratamientos pregerminativos en especies forestales nativa del 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, 8 de agosto del 2025.


 Ing. Francel Xavier López Mejía, PhD.
Docente Tutor
Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria



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

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

**"Tratamientos pregerminativos en especies forestales nativas
del trópico húmedo"**

AUTOR: Miguel Ángel Chica Cedeño

TUTOR: Ing. Francel Xavier López Mejía, PhD.

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

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ing. De la Cruz Chicaiza Marco Vinicio, Mg

Ing. Gonzales Dávila Ricardo Paúl, Mg

Ing. Cobeña Loo Nexsar Vismar, Mg



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Miguel Ángel Chica Cedeño con cédula de ciudadanía 131738098-6, estudiante de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen, de la Carrera Ingeniería Agropecuaria, declaro que las opiniones, criterios y resultados encontrados en las aplicaciones de los diferentes instrumentos de investigación que están resumidos en las recomendaciones con el tema **“Tratamientos Pregerminativos en especies forestales nativa del trópico húmedo”**, son información exclusiva de su autora, apoyados por el criterio de profesionales de diferentes indoles, presentados en la bibliografía que fundamenta este trabajo; al mismo tiempo declaro que el patrimonio intelectual del trabajo investigativo pertenece a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen.

Atentamente,



Miguel Angel Chica Cedeño

Estudiante

El Carmen, 08 de agosto del 2025

DEDICATORIA

“El conocimiento no es para tenerlo guardado como si fuera oro o joyas, el conocimiento es para compartirlo.”- José Mujica

A mi padre, Miguel Jairo Chica Cusme, y a mi madre, Francisca Fabiola Cedeño Bravo, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su amor incondicional, su ejemplo y apoyo constante. A Dios, por concederme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar con éxito esta etapa de mi formación profesional.

Miguel Ángel Chica Cedeño

AGRADECIMIENTO

"El hombre no es más rico cuando más tiene, sino cuando menos necesita." - **José Mujica**

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.

Miguel Ángel Chica Cedeño

ÍNDICE

TRIBUNAL DE TITULACIÓN	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
I. CAPÍTULO	1
TÍTULO	1
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	4
Objetivos	5
Hipótesis	5
METODOLOGÍA	6
1.1 Localización de la unidad experimental	6
1.2 Caracterización climatológica de la zona	6
1.3 Materiales y Equipos	7
1.4 Variables	7
1.5 Métodos	8
1.5.1 Método empírico	8
1.5.2 Método experimental.....	8
1.5.3 Análisis estadístico	8
1.5.4 Diseño experimental.....	9
1.5.5 Manejo del experimento	9
CAPÍTULO II.....	11
MARCO TEÓRICO	11

2.1	Fundamentos de la calidad genética en fuentes semilleras	11
2.2	Clasificación general de fuentes semilleras	11
2.3	Importancia genética de las semillas forestales en reforestación.....	12
2.4	Huertos semilleros genéticamente comprobados.....	12
2.4.1	Huertos semilleros no comprobados.....	12
2.5	Consideraciones ecológicas en la selección de semillas para especies forestales	12
2.6	Aplicación en proyectos del trópico húmedo	13
2.6.1	Rodales Semilleros	13
2.7	Germinación de la semilla	13
2.7.1	Intensidad de la latencia y rango térmico	13
2.7.2	Ventajas del uso de tratamientos pregerminativos en semillas de viveros.....	15
2.7.3	Factores que influyen en la germinación de especies forestales	16
2.8	Importancia y manejo del cedro (<i>Cedrela odorata</i>) en vivero forestal	16
2.8.1	Cedro ecuatoriano y su rol en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES).....	17
2.8.2	Origen, distribución y fenología.....	17
2.8.3	Descripción botánica y propiedades de la madera.....	17
2.8.4	Semilla y abastecimiento de material genético.....	18
INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		19
CAPÍTULO III		20
DESARROLLO DE LA PROPUESTA		20
3.1	Descripción del sistema	20
3.2	Diseño y selección de tecnologías a implementar	22
3.3	Plan de implementación.....	25
3.4	Descripción y pruebas de funcionamiento del equipo	26
3.5	Resultados.....	27
3.5.1	Impacto de la frecuencia de riego en la pregerminación y el desarrollo posgerminativo de semillas de <i>Cedrela odorata</i> L.	27

3.5.2	Porcentaje de germinación de la semilla de <i>Cedrela odorata</i> L.....	27
3.5.3	Altura de la planta (cm) a los 30 días postrasplante en <i>Cedrela odorata</i> L.	28
3.5.4	Número de hojas a los 30 días	29
3.5.5	Diámetro del tallo (mm) a los 30 días	30
3.5.6	Supervivencia e incidencia de damping-off a los 30 días	31
CAPÍTULO IV		32
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		XXXV
ANEXOS		XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características climatológicas de la localidad.....	6
Tabla 2. Materiales y equipos para evaluar los tratamientos pregerminativos de la melina	7
Tabla 3. Variables dependientes en cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.) durante la pregerminación y el vivero	8
Tabla 4. <i>Tratamiento de estudio</i>	9
Tabla 5. Clasificación general de fuentes semilleras.....	11
Tabla 6. Tipos de latencia de semillas y manejo pregerminativo.....	14
Tabla 7. Clasificación taxonómica de <i>Cedrela odorata</i> L.....	17
Tabla 8. Desglose de costos de adquisición e instalación del sistema de riego del vivero	21
Tabla 9. Plan de implementación del sistema de pregerminación para semilla de <i>Cedrela odorata</i> L.	25
Tabla 10. <i>Porcentaje de germinación acumulado por tratamiento y fecha de evaluación en semilla de Cedrela odorata L. (n = 100 semillas por tratamiento)</i>	27
Tabla 11. Porcentaje de germinación acumulado por tratamiento y fecha de evaluación en semilla de <i>Cedrela odorata</i> L.....	28
Tabla 12. Altura de la planta (cm) a los 30 días postrasplante en plantas en cedro	29
Tabla 13. Número de hojas a los 30 días postrasplante en plantas en cedro	29
Tabla 14. Diámetro del tallo (mm) a los 30 días por en semilla de <i>Cedrela odorata</i> L.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de proyecto de investigación	6
Figura 2. Semilla de cedro (<i>Cedrela odorata</i>)	18
Figura 3. Sistema de riego de ocho aspersores.....	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Instalación del sistema de riego por aspersión en el vivero de especies forestales nativas tropicales	XXXV
Anexo 2. Instalación de la estructura para realizar los tratamientos pregerminativos	XXXV
Anexo 3. Acta de entrega y recepción.....	XXXVI
Anexo 4. Certificado de similitud	XXXVIII

RESUMEN

Se evaluó la respuesta germinativa y el vigor inicial de plántulas de *Cedrela odorata* L. bajo dos sustratos de pregerminación después de 48 h de imbibición hídrica. Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de 100 semillas por tratamiento: (T1) compost + aserrín de balsa + arenilla de río y (T2) cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus + arenilla. Las semillas se sembraron en bandejas bajo malla sombra al 50 % y se irrigaron con pulsos de 1 min cada 2 h durante cinco días. La germinación (radícula visible) se registró a los 7, 14 y 21 d; a los 30 d pos-trasplante se cuantificaron altura, diámetro de cuello y número de hojas. Los porcentajes se transformaron con $\arcsen \sqrt{p}$ y se compararon mediante t de Student; la sanidad se evaluó por inspección directa. T1 alcanzó 85 % de germinación a los 21 d, superando en nueve puntos al 76 % de T2 ($p < 0,0001$). A los 30 d las plántulas de T1 evidenciaron 10,64 cm de altura y 1,98 mm de diámetro, frente a 9,30 cm y 1,76 mm en T2 (diferencias significativas). El número medio de hojas no varió ($\approx 8,5$). No se registraron pérdidas ni *damping-off*, lo que confirma la eficacia del protocolo sanitario basado en hipoclorito al 2 %, filtrado de 130 μm y riego pulsado. el sustrato con compost se consolida como la opción de referencia para pregerminación en viveros tropicales, cumpliendo ampliamente el objetivo comparativo planteado.

Palabras claves: Bioseguridad, imbibición, morfología, emergencia, reforestación.

ABSTRACT

Germination response and early seedling vigour of *Cedrela odorata* L. were assessed in two pregermination substrates following 48 h of water imbibition. A completely randomised design was used with four replicates of 100 seeds per treatment: (T1) compost + balsa sawdust + river sand, and (T2) rice husk + cocoa soil + humus + sand. Seeds were sown in trays beneath 50 % shade netting and irrigated with 1-min pulses every 2 h for five days. Visible radicle emergence was recorded on days 7, 14 and 21; plant height, collar diameter and leaf number were measured 30 days after transplanting. Percentages were arcsine-square-root transformed and compared with Student's t-test; health status was determined by direct inspection. T1 achieved 85 % germination by day 21, nine percentage points higher than the 76 % observed with T2 ($p < 0.0001$). After 30 days, T1 seedlings averaged 10.64 cm in height and 1.98 mm in collar diameter, whereas T2 seedlings reached 9.30 cm and 1.76 mm, respectively (both differences significant). Mean leaf number did not differ (≈ 8.5 leaves). No mortality or damping-off was detected, confirming the effectiveness of the sanitary protocol involving 2 % sodium hypochlorite, 130 μm filtration and pulsed irrigation. The compost-based substrate therefore emerges as the reference option for pregermination in tropical nurseries, fully meeting the comparative objective set.

Keywords: biosafety, imbibition, morphology, emergence, afforestation.

I. CAPÍTULO

TÍTULO

Tratamientos pregerminativos en especies forestales nativas del trópico húmedo.

INTRODUCCIÓN

La zona del trópico húmedo ecuatoriano se distingue por albergar una extraordinaria diversidad forestal, con registros que superan las 200 especies arbóreas por hectárea en determinadas áreas (MAE, 2014). Esta diversidad convierte al país en uno de los territorios megadiversos del planeta, respaldando ecosistemas que proveen servicios esenciales como la regulación del clima, el mantenimiento del ciclo hidrológico y la captación de dióxido de carbono (Ramírez et al., 2023).

No obstante, procesos como la deforestación acelerada, el cambio de uso del suelo y el avance de la frontera agropecuaria han puesto en riesgo la integridad de estos ecosistemas y de las especies nativas que los componen (MAE, 2014). Frente a este escenario, las estrategias de restauración ecológica y reforestación con especies autóctonas han adquirido relevancia como mecanismos orientados a revertir la pérdida de cobertura vegetal y conservar la biodiversidad local (Quintero-García & Jaramillo-Villegas, 2012).

Uno de los pilares fundamentales de estas acciones radica en la reproducción eficiente de plantas nativas, cuya viabilidad inicia con una adecuada germinación de las semillas (MAE, 2014). No obstante, muchas especies forestales autóctonas presentan dificultades para germinar debido a la latencia o dormancia de sus semillas, las cuales funcionan como estrategias evolutivas para resistir condiciones adversas (Villalón-Mendoza, 2016).

Aunque estas características resultan beneficiosas en entornos naturales, en viveros provocan tasas germinativas reducidas y tiempos prolongados para la emergencia de plántulas, lo que limita su propagación a escala operativa (Aponte et al., 2011).

Un ejemplo representativo es el de *Juglans neotropica*, cuyas semillas, al poseer un endocarpio endurecido, requieren de tratamientos especiales para alcanzar niveles de germinación cercanos al 80 % (Ramírez et al., 2023). Este fenómeno no es exclusivo, ya que muchas otras especies tropicales exhiben dormancia física, fisiológica o morfológica que impide la germinación aún bajo condiciones ambientales favorables (Villota-González et al., 2024).

Para contrarrestar estos impedimentos, se ha recurrido al uso de tratamientos pregerminativos, los cuales consisten en técnicas aplicadas previamente a la siembra con el fin de inducir o acelerar la germinación (Sánchez-Paz & Ramírez-Villalobos, 2006). Entre los métodos más comunes destacan el remojo controlado de semillas, la escarificación (mecánica o química), la estratificación térmica y la utilización de fitohormonas como el ácido giberélico (Merino-Valdés et al., 2018).

Estas técnicas han demostrado aumentar significativamente la eficiencia germinativa y reducir el tiempo de respuesta en diversas especies tropicales (Utello et al., 2023). Por ejemplo, en *Carapa morphocarpa*, especie en peligro del noroccidente ecuatoriano, se reportó una tasa germinativa promedio del 83 % al aplicar escarificación combinada con un sustrato adecuado, en contraste con la baja germinación en semillas sin tratamiento (Villota-González et al., 2024).

En conjunto, la implementación de tratamientos pregerminativos representa una estrategia efectiva para fortalecer la producción de plantas nativas en viveros, mejorar las tasas de éxito en proyectos de reforestación ecológica y promover la conservación de la flora del trópico húmedo ecuatoriano.

A nivel nacional, el manejo y producción de semillas forestales no cuenta con un sistema técnico y normativo articulado que garantice la calidad y disponibilidad de los insumos reproductivos (Rueda-Sánchez et al., 2014). Las instituciones que producen y comercializan semillas presentan limitaciones significativas para responder de forma eficiente a la demanda, tanto en calidad fisiológica como en cantidad y oportunidad (Rueda-Sánchez et al., 2012).

Este desajuste se evidencia especialmente en los programas de reforestación, que han sido priorizados frente a actividades de restauración ecológica o enriquecimiento de ecosistemas forestales naturales, las cuales son escasas y poco promovidas (Muñoz-Flores et al., 2015).

En opinión propia, esta situación refleja una debilidad estructural en la planificación forestal nacional. La ausencia de lineamientos técnicos sólidos y mecanismos de control de calidad limita la eficacia de las iniciativas ambientales. Es necesario establecer políticas públicas que impulsen bancos de semillas certificadas de especies nativas y mejorar las capacidades técnicas de los viveros, especialmente aquellos que operan en zonas de alta biodiversidad como el trópico húmedo ecuatoriano (Mayoral et al., 2020).

Villalón-Mendoza (2016), explica que muchas semillas forestales, aunque maduras, no

germinan de inmediato debido a la dormancia. Este fenómeno fisiológico impide que la semilla inicie su desarrollo bajo condiciones ambientales favorables, prolongando el proceso de germinación. La duración de este estado de latencia varía ampliamente entre especies y puede extenderse desde unos meses hasta varios años (MAE, 2014).

Desde una perspectiva técnica, esta dormancia representa un reto importante para la producción forestal en vivero, pues impide una planificación precisa del calendario de siembra. La falta de conocimiento sobre los mecanismos de latencia en especies nativas limita la capacidad para responder oportunamente a los programas de reforestación y conservación. Por ello, se requiere una caracterización previa del comportamiento germinativo de cada especie para establecer estrategias eficientes de propagación.

La viabilidad de las semillas forestales varía según su clasificación como ortodoxas o recalcitrantes, y depende directamente de las condiciones de almacenamiento (Mayoral et al., 2020). En este contexto, los tratamientos pre-germinativos cumplen una función clave al estimular la reactivación metabólica de semillas almacenadas, mejorando su tasa y uniformidad de germinación (Ceccon, 2014).

Desde la práctica profesional, es imprescindible promover investigaciones aplicadas que identifiquen los tratamientos pre-germinativos más efectivos para especies forestales nativas del trópico húmedo ecuatoriano. La falta de protocolos específicos retrasa los procesos de reforestación y compromete la regeneración natural de ecosistemas degradados. Además, formar técnicos y productores en estas técnicas fortalecerá los sistemas locales de producción de plantas con enfoque ecológico.

¿Cuáles son los tratamientos pre-germinativos más efectivos para mejorar la germinación de semillas de especies forestales nativas del trópico húmedo ecuatoriano?

JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas del trópico húmedo ecuatoriano representan uno de los reservorios de biodiversidad más significativos a nivel mundial, albergando una gran variedad de especies forestales nativas que desempeñan funciones ecológicas esenciales como la regulación hídrica, el secuestro de carbono y la protección del suelo (MAATE, 2023). A pesar de su relevancia, estos ecosistemas enfrentan una creciente degradación debido a la deforestación, el cambio de uso de suelo y la sobreexplotación de recursos forestales, lo cual amenaza la sostenibilidad de las especies nativas que los componen (FAO, 2020).

En este contexto, la reforestación con especies locales emerge como una estrategia prioritaria para la restauración ecológica, sin embargo, su implementación se ve limitada por las dificultades asociadas a la propagación de estas especies en vivero (Sánchez-Paz & Ramírez-Villalobos, 2006).

Muchas de las especies forestales nativas del trópico húmedo presentan mecanismos de latencia que impiden una germinación rápida y uniforme, lo cual dificulta la producción eficiente de plántulas y compromete el éxito de los programas de reforestación (González et al., 2010). La dormancia, aunque biológicamente adaptativa en condiciones naturales, representa una barrera técnica en ambientes controlados, donde se requiere una germinación acelerada para cumplir con los cronogramas de plantación y garantizar la supervivencia inicial de las especies (MAATE, 2023).

En este sentido, los tratamientos pregerminativos permiten romper dichas barreras, activando los procesos fisiológicos de germinación a través de métodos físicos, químicos o fisiológicos que mejoran el desempeño de las semillas en vivero.

El uso de tratamientos pregerminativos no solo optimiza la tasa y velocidad de germinación, sino que también reduce el desperdicio de semillas, incrementa la uniformidad del desarrollo de las plántulas y disminuye los costos de producción, lo cual resulta fundamental para proyectos a gran escala o con recursos limitados (MAATE, 2023).

Además, aplicar estos tratamientos favorece la conservación de especies amenazadas, muchas de las cuales presentan bajos porcentajes germinativos y ciclos reproductivos prolongados, lo que dificulta su recuperación en hábitats alterados (Rueda-Sánchez et al., 2014). La producción de plántulas mediante protocolos mejorados contribuye directamente a la restauración de corredores ecológicos y a la recuperación de paisajes forestales degradados, aspectos clave en el cumplimiento de los compromisos ambientales asumidos por el Ecuador

en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (PNUD, 2022).

Por estas razones, el estudio e implementación de tratamientos pregerminativos en semillas de especies forestales nativas del trópico húmedo constituye una necesidad urgente tanto desde el punto de vista ecológico como productivo. Generar conocimiento técnico y científico en esta área permitirá desarrollar protocolos replicables que fortalezcan las capacidades locales para la propagación de especies nativas, fomentando prácticas sostenibles de reforestación y conservación, y asegurando así la resiliencia ecológica de los bosques tropicales del país.

Objetivos

i) **Objetivo general**

Evaluar la influencia de distintas condiciones de pregerminación y de sustrato sobre la germinación y el crecimiento temprano de plántulas de cedro (*Cedrela odorata* L.) en vivero.

ii) **Objetivos específicos**

- Comparar el efecto de dos sustratos de pregerminación, posteriores a remojo hídrico de 48 horas, sobre el desempeño germinativo de semillas de cedro.
- Evaluar la incidencia del sustrato de pregerminación sobre el desempeño en vivero a 30 días posteriores al trasplante.

Hipótesis

Hipótesis en negación (H_0): El sustrato de pregerminación aplicado tras remojo hídrico de 48 horas no modifica de forma significativa la germinación de las semillas de cedro ni el desempeño inicial en vivero.

Hipótesis en afirmación (H_1): El sustrato de pregerminación aplicado tras remojo hídrico de 48 horas sí modifica de forma significativa la germinación de las semillas de cedro y el desempeño inicial en vivero.

METODOLOGÍA

1.1 Localización de la unidad experimental

El estudio se llevó a cabo en el área de viveros forestales de la Granja Experimental «Río Suma», perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. El sitio de trabajo se localiza en las coordenadas geográficas (latitud, longitud) -0.259647 y -79.427987 , y dispone de infraestructura destinada a la propagación y manejo de plántulas.

El área de viveros forestales de la Granja Experimental «Río Suma» funciona como un espacio de implementación y transferencia de conocimientos en silvicultura de especies arbóreas. Desarrolla protocolos estandarizados de propagación, manejo de sustratos, riego y sanidad; ofrece extensión universitaria y formación técnica para estudiantes, productores y comunidades locales; y apoya iniciativas de reforestación, restauración ecológica y sistemas agroforestales en la región.

Figura 1. Localización de proyecto de investigación



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 ⁻¹)	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

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

1.3 Materiales y Equipos

Tabla 2. *Materiales y equipos para evaluar los tratamientos pregerminativos de la melina*

Equipos de riego	Herramientas e instrumentos	Insumos de vivero forestales
Bomba centrífuga superficial	Palas y picos	Pirenos cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.)
Manguera de succión	Cinta métrica y nivel	Sustratos de pregerminación Cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus Compost + aserrín de balsa + arenilla de río
Válvula de pie con colador	Llaves ajustables / cortatubos	Bandejas germinadoras
Válvula de retención (cheque)	Destornilladores y tenazas	Fundas
Filtro de malla	Recipientes graduados (5–10 L)	Etiquetas de identificación
Línea principal (manguera/tubería)	Cronómetro	Marcadores indelebles
Válvulas de corte	Termómetro de ambiente/sustrato	Malla sombra
Derivaciones internas (tees, codos)	Higrómetro o medidor de humedad (opcional)	Registros/planillas de campo
Nebulizadores o aspersores 360°	Cinta de teflón	Regaderas manuales
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)	Alcohol o solución desinfectante
Acoples rápidos	EPP: guantes, gafas, botas	Hipoclorito de sodio 2 % (desinfección de pirenos)
Manómetro	Baldes para remojo de semillas	Papel secante o toallas absorbentes

1.4 Variables

Variables independientes

- Tratamientos pregerminativos es especies forestales.

Variables dependientes

Tabla 3. Variables dependientes en cedro (*Cedrela odorata* L.) durante la pregerminación y el vivero

Variables dependientes	Definición operacional	Unidad	Momento de evaluación	Método / Instrumento
Porcentaje de germinación	Proporción de semillas con radícula visible respecto al total sembrado en cada fecha	%	Días 7, 14 y 21	Conteo diario; planilla de registro
Altura de la planta	Longitud desde el cuello del tallo hasta el ápice foliar más alto	cm	Día 30 postrasplante	Regla o flexómetro
Diámetro del cuello del tallo	Diámetro a nivel del cuello (transición tallo-raíz)	mm	Día 30 postrasplante	Vernier o calibre
Número de hojas	Total de hojas expandidas por plántula	n.º	Día 30 postrasplante	Observación directa
Supervivencia	Plántulas vivas respecto al total trasplantado	%	Día 30 postrasplante	Conteo; planilla de registro
Incidencia de <i>damping-off</i>	Plántulas con síntomas típicos (tizón del cuello, colapso) respecto al total trasplantado	%	Día 30 postrasplante	Inspección sanitaria

1.5 Métodos

1.5.1 Método empírico

El estudio utilizó el método empírico para registrar información directa del desempeño germinativo y del crecimiento temprano de plántulas en el área de viveros forestales (Arias, 2012). El equipo de campo efectuó conteos diarios de germinación y mediciones periódicas de rasgos morfológicos en condiciones controladas de sombra, riego y sustrato pos-trasplante.

1.5.2 Método experimental

La investigación adoptó un enfoque experimental con control estricto de condiciones ambientales del vivero (Arias, 2012). El factor en estudio correspondió al sustrato de pregerminación con dos niveles. Todas las semillas recibieron remojo hídrico durante 48 horas como condición estándar previa a la siembra (Merino-Valdés et al., 2018).

1.5.3 Análisis estadístico

El análisis comparó dos niveles del factor sustrato de pregerminación. La variable germinación se trató como proporción y se expresó en porcentaje para el informe. Para germinación (%), se aplicó t de Student para muestras independientes después de una

transformación $\arcsen(\sqrt{p})$, con el fin de estabilizar varianzas y aproximar la normalidad (Hurtado & Silvente, 2012).

Para el desempeño a 30 días, se contrastaron altura, diámetro del tallo y número de hojas mediante *t* de Student para muestras independientes. Las variables supervivencia e incidencia de damping-off se analizaron como proporciones y se sometieron a transformación $\arcsen(\sqrt{p})$ antes del contraste paramétrico (Molina Arias et al., 2020). Se verificó el cumplimiento de normalidad mediante Shapiro–Wilk y de homogeneidad de varianzas mediante Levene (Hurtado & Silvente, 2012). En ausencia de homocedasticidad se utilizó la corrección de Welch y, cuando no se constató normalidad, se recurrió a la prueba de Mann–Whitney como alternativa no paramétrica.

1.5.4 Diseño experimental

El ensayo se estructuró bajo un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos (sustratos de pregerminación) y cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental incluyó 25 pirenos útiles de cedro (*Cedrela odorata* L.), para un tamaño muestral de 100 pirenos útiles por tratamiento (25×4) y un total de 200 pirenos útiles en el experimento.

Tabla 4. *Tratamiento de estudio*

Código	Composición del sustrato	Secuencia operativa	Duración en pregerminación
T1	Compost + aserrín de balsa + arena de río	Remojo 48 h → escurrido → siembra en T1	5 días
T2	Cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus + arena de río	Remojo 48 h → escurrido → siembra en T2	5 días

1.5.5 Manejo del experimento

El procedimiento metodológico inició con la selección de pirenos y limpieza mediante flotación para descartar vacíos. Se efectuó desinfección superficial con hipoclorito de sodio al 2 % durante 10 min, seguida de tres enjuagues con agua limpia y escurrido sobre papel absorbente; luego se aplicó remojo hídrico por 48 h con recambio de agua cada 12–24 h y se etiquetó cada lote. A continuación, las semillas se asignaron aleatoriamente a dos protocolos de pregerminación con igual duración de 5 días: T1 (compost + aserrín de balsa + arenilla de río) y T2 (cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus + arenilla).

Durante esta fase se mantuvo sombra del 50–60 % y riegos en láminas cortas y frecuentes para conservar humedad sin anoxia. Cumplido el periodo, se realizó el trasplante a funda con una profundidad de siembra de 1–1,5 cm y se estandarizó el manejo en vivero durante 30 días.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentos de la calidad genética en fuentes semilleras

El éxito de los programas de reforestación con especies forestales nativas depende, en gran medida, del origen genético del material semillero utilizado. Una semilla de alta calidad no solo garantiza buena germinación, sino que también asegura características deseables en los individuos establecidos, como adaptabilidad, vigor y resistencia (Ramírez et al., 2009). A medida que avanza el mejoramiento genético forestal, se logran mayores ganancias en estas características, lo cual exige una correcta clasificación y selección de las fuentes de semillas para evitar pérdidas en el proceso de restauración (Ramírez et al., 2023).

2.2 Clasificación general de fuentes semilleras

Las fuentes semilleras se pueden categorizar de acuerdo con su nivel de mejoramiento genético y el grado de control ejercido sobre las condiciones de producción (Ramírez et al., 2009). La semilla recolectada de un rodal natural sin manejo específico tiende a presentar menor calidad en comparación con aquella proveniente de huertos o rodales manejados bajo criterios técnicos (Gutiérrez, 2019).

Es fundamental considerar que una fuente desarrollada en condiciones ecológicas distintas a las del sitio de plantación puede comprometer el desempeño de las plántulas, incluso si la semilla ha sido genéticamente mejorada (Quiroz-Marchant et al., 2012).

Tabla 5. *Clasificación general de fuentes semilleras*

Tipo de fuente	¿Qué es?	Control genético	Uso típico
Recolección identificada	Colecta en rodal/plantación con procedencia conocida, sin selección.	Bajo	Restauración de baja exigencia, ensayos preliminares.
Árboles plus (individuales seleccionados)	Colecta de árboles fenotípicamente superiores de la zona.	Bajo–medio	Primeras mejoras; base para crear rodales/APS.
Rodal semillero / APS	Rodal o plantación seleccionada y manejada para producir semilla.	Medio–alto	Reforestación operativa con procedencia confiable.
Huerto semillero de plántulas (SSO)	Huerto a partir de progenies de árboles plus; manejo de floración.	Alto	Abastecimiento estable con mejora genética moderada.
Huerto semillero clonal (CSO)	Huerto con clones superiores y aislamiento reproductivo.	Muy alto	Plantaciones intensivas; mayor ganancia genética.

Nota. Tomado de Quiroz-Marchant et al. (2012)

2.3 Importancia genética de las semillas forestales en reforestación

La calidad genética del material semillero representa un factor determinante en el éxito de programas de reforestación, especialmente en ecosistemas complejos como el trópico húmedo (Villalba & Solarte, 2022). La obtención de semillas con alta viabilidad y potencial de adaptación permite establecer plantaciones más resilientes, con crecimiento vigoroso, resistencia a enfermedades y capacidad de regeneración sostenida (Sánchez-Paz & Ramírez-Villalobos, 2006). En este sentido, el origen y manejo de la fuente semillera se convierten en aspectos clave al momento de planificar procesos de restauración ecológica (Varela & Arana, 2011).

2.4 Huertos semilleros genéticamente comprobados

En la cúspide de las fuentes semilleras se encuentran los huertos semilleros genéticamente comprobados, definidos como plantaciones compuestas por clones o progenies seleccionadas con base en ensayos científicos (Villalba & Solarte, 2022). Estos huertos cuentan con respaldo genético validado en campo, y han sido sometidos a aclaras para eliminar individuos con bajo desempeño, lo que garantiza una alta ganancia genética en la producción de semillas (FAO, 2016). Además, se diseñan para facilitar la recolección, minimizar la contaminación por polinización externa y asegurar una progenie homogénea y de alta calidad.

2.4.1 Huertos semilleros no comprobados

Los huertos semilleros no comprobados, aunque visualmente similares a los anteriores, carecen de evaluaciones genéticas formales (Varela & Arana, 2011). Generalmente, no han sido sometidos a procesos de aclaramiento ni cuentan con pruebas en campo que certifiquen la calidad de su semilla (Pincay Mero, 2023). Aunque algunos pueden haber pasado por una selección inicial intensiva, el uso de estas fuentes implica un riesgo mayor, ya que la calidad genética del material propagado no está científicamente garantizada (Rodríguez & Vargas, 2003).

2.5 Consideraciones ecológicas en la selección de semillas para especies forestales

El éxito de la reforestación no depende únicamente de la calidad genética, sino también de la compatibilidad ecológica entre la fuente semillera y el sitio de plantación (Varela & Arana, 2011). Es común que semillas extraídas de zonas ecológicas distintas presenten bajo rendimiento en nuevos entornos debido a diferencias en clima, altitud o composición del suelo (Pincay Mero, 2023). Por ello, es fundamental seleccionar fuentes que hayan sido probadas en condiciones similares a las del área de reforestación semillas (FAO, 2016). Este criterio permite

maximizar el establecimiento, crecimiento y supervivencia de las especies forestales.

2.6 Aplicación en proyectos del trópico húmedo

En el contexto de los bosques tropicales húmedos del Ecuador, donde la biodiversidad es elevada y los ecosistemas son especialmente sensibles, la selección adecuada de fuentes semilleras cobra una importancia aún mayor (MAATE, 2023). Utilizar semillas provenientes de huertos mejorados, adaptadas a condiciones locales, permite implementar programas de reforestación más eficientes y sostenibles (MAE, 2014). Esta estrategia no solo contribuye a la conservación de la biodiversidad, sino que también fortalece la restauración ecológica con especies nativas adaptadas a las condiciones específicas del sitio (Varela & Arana, 2011).

2.6.1 Rodales Semilleros

Los rodales semilleros pueden estar conformados por poblaciones naturales o plantadas que han sido manejadas para reducir la contaminación genética y facilitar la recolección (Villalba & Solarte, 2022). Se caracterizan por haber pasado por un proceso de selección fenotípica, donde se eliminan individuos no deseables para mantener entre 75 y 200 árboles por hectárea con características sobresalientes (Mayoral et al., 2020).

El rodal debe poseer una base genética suficientemente diversa, proveniente de múltiples progenitores, y ocupar una superficie mínima de una hectárea. Las agrupaciones pequeñas o plantaciones lineales no se consideran aptas bajo este concepto técnico (Cepeda, 2019). Además, los rodales semilleros pueden originarse a partir de rodales naturales, plantaciones comerciales, parcelas piloto o ciertos tipos de ensayos genéticos (Mesén, 1994). Su manejo adecuado contribuye significativamente a la obtención de semillas adaptadas al entorno local y con buen potencial de desarrollo (Yisau et al., 2023).

2.7 Germinación de la semilla

La germinación describe el reinicio del crecimiento del embrión hasta la emergencia de la radícula fuera de las cubiertas (Cepeda, 2019). La latencia (o dormición) se define como la incapacidad de germinar pese a contar con humedad, temperatura y gases adecuados (Varela & Arana, 2011). En producción de planta forestal, la latencia dificulta cronogramas de siembra y uniformidad del vivero; por ello se aplican tratamientos pregerminativos que reducen tiempos y amplían el porcentaje de emergencia (Yisau et al., 2023).

2.7.1 Intensidad de la latencia y rango térmico

Un mismo lote puede mostrar alto o bajo nivel de latencia, con alto nivel, la germinación

solo ocurre en un rango estrecho de temperaturas; tras un post-maduración, ese rango se amplía y el porcentaje se eleva (Yisau et al., 2023).

Tabla 6. Tipos de latencia de semillas y manejo pregerminativo

Tipo de latencia	Mecanismo causal principal	Indicadores diagnósticos en vivero	Tratamientos pregerminativos eficaces	Parámetros orientativos de incubación*	Ejemplos forestales
Exógena: Física Tegumento impermeable	Cubierta seminal cerosa o lignificada impide imbibición y difusión gaseosa.	Semillas no aumentan peso tras corte transversal embrión sano. Prueba de tetrazolio positiva sin germinación.	Escarificación mecánica (lijado, Micro corte en el ápice); agua caliente breve (80–90 °C, 30–120 s). Seguida de remojo 12–24 h; H ₂ SO ₄ en tiempos cortos.	Germinación en temperaturas alternas 20↔30 °C o 25↔35 °C; luz según especie.	Melina (<i>Gmelina arborea</i>).
Exógena: Mecánica (resistencia de cubiertas)	Endocarpo o pericarpio rígido restringe expansión del embrión aun con imbibición adecuada.	Semillas ganan peso, pero la radícula no rompe cubiertas; apertura manual permite germinación.	Apertura parcial del endocarpo, ranurado o fractura controlada del pireno; remojo 24–48 h.	Igual que arriba; priorizar sustrato aireado para facilitar emergencia.	Juglans spp., <i>Dipteryx</i> spp.
Exógena: Química (inhibidores)	Inhibidores en pericarpio/alas/cáliz o en el tegumento bloquean la iniciación.	Agua en flujo incrementa germinación; lavado prolongado mejora resultado frente a testigo.	Lixiviación en agua corriente 24–72 h; alternar sol y remojo; 30 °C; cambio de agua moderada si la especie es frecuente; ocasional uso de KNO ₃ 0,2–0,4 %.	Incubar a 25–30 °C; luz moderada si la especie es fotoblástica.	Teca (<i>Tectona grandis</i>)
Endógena: Morfológica (embrión incompleto)	Embrión poco desarrollado dispersarse; requiere crecimiento previo.	Incremento de germinación tras fase cálida húmeda durante 2–8 semanas; al sin otras intervenciones; microscopía confirma embrión pequeño.	Post-maduración cálida (20–30 °C) durante 2–8 semanas; luego siembra. A menudo combina con fase fría si coexiste fisiológico.	Secuencia cálida → fría cuando se detecta si morfofisiología.	Fraxinus spp.
Endógena: Fisiológica (bloqueo hormonal)	Desbalance ABA/GA y sistemas internos que impiden la activación del embrión.	Germinación mejora tras estratificación; respuesta a GA ₃ o temperaturas alternas; semillas imbiben normalidad.	Estratificación fría (4–10 °C, 4–12 semanas) o cálida según especie; GA ₃ (100–500 ppm) y KNO ₃ en pruebas; con regímenes 20↔30 °C.	Alternancia térmica día/noche; luz según fotoblastismo.	balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>)
Mixta / Intermedia (exógena + endógena)	Semipermeabilidad de cubiertas bloquea fisiológico en reservas embrión.	Mejora parcial con escarificación + lavado, y mejora adicional o estratificación; curvas de tiempo medio se acortan	Secuencia: escarificación o escarificación/lavado → estratificación (fría o cálida) → siembra en alternancia térmica; uso opcional de GA ₃ /KNO ₃ .	Ensayo “move-along” para replicar estaciones; control sanitario estricto.	Coníferas (<i>Pinus</i> spp.).

Nota. Tomado de Pincay Mero, (2023); Quintero-García & Jaramillo-Villegas, (2012).

La latencia sincroniza la emergencia con estaciones favorables y mejora la supervivencia de plántulas. En vivero, algunas especies carecen de latencia y pierden viabilidad con almacenamiento; otras exigen tratamientos para uniformar la emergencia (Varela & Arana, 2011).

De modo práctico, conviene diagnosticar el tipo de latencia y ajustar protocolos por especie y procedencia (Andrade-Rodríguez et al., 2008; Pincay Mero, 2023; Quintero-García & Jaramillo-Villegas, 2012). Esta relación orienta la elección de temperaturas de incubación y la necesidad de pre-tratamientos en laboratorio y vivero (Tabla 6).

2.7.2 Ventajas del uso de tratamientos pregerminativos en semillas de viveros

○ Aumento del porcentaje de germinación

La ruptura de la latencia física, química o fisiológica eleva la proporción de semillas que emergen respecto al testigo, en especial en especies de interés tropical como teca y melina (Thompson, 1975). La literatura técnica y las normas ISTA reportan mejoras consistentes al usar escarificación, lixiviación, estratificación o reguladores (GA_3/KNO_3) (Luna et al., 1949).

○ Reducción del tiempo medio de germinación (MGT) y adelanto de la emergencia

Los tratamientos acortan el intervalo desde la siembra hasta la radícula visible, lo que acelera la rotación de bandejas y permite programar siembras y repiques con fechas más predecibles (Kayode & Agbebi, 2006)

○ Mayor uniformidad del lote

Una emergencia más concentrada homogeneiza el tamaño de las plántulas y facilita riego, fertilización y aclimatación por bloques, con menor coeficiente de variación en altura y diámetro del cuello del tallo (Luna et al., 1949). Esto simplifica la logística del vivero y disminuye la necesidad de resiembras (Kayode & Agbebi, 2006).

○ Mejor calidad morfológica y vigor temprano

La superación de la latencia eleva número de hojas, mejora diámetro del cuello y aumenta masa seca inicial; estos rasgos mejoran el Índice de Calidad de Dickson (IQD) y favorecen la supervivencia en campo. En melina, la escarificación leve, el remojo 24–48 h o GA_3 a dosis moderadas mejoran la germinación y el crecimiento inicial respecto al control (Utello et al., 2023; Varela & Arana, 2011; Willan, 1985).

- **Reducción de pérdidas sanitarias en pre-emergencia**

Un MGT más corto limita la ventana de susceptibilidad a patógenos del suelo y reduce damping-off cuando existe saneamiento del sustrato y riego adecuado (Luna et al., 2008).

- **Optimización de costos y uso de recursos**

Un porcentaje de germinación más alto y una emergencia más uniforme disminuyen el desperdicio de semilla, acortan estancias en vivero y mejoran el uso del espacio, la mano de obra y el agua de riego (Willan, 1985; Luna et al., 2008).

- **Mejor enlace vivero y campo**

Plántulas con mayor vigor y uniformidad aumentan supervivencia y aceleran el establecimiento en campo, lo que mejora la relación costo-beneficio de la plantación (Luna et al., 2008).

2.7.3 Factores que influyen en la germinación de especies forestales

La germinación corresponde a una secuencia ordenada de eventos que inicia con la imbibición, continúa con la reactivación metabólica y culmina con la protrusión de la radícula (Varela & Arana, 2011). Su éxito depende de la interacción entre el ambiente y los rasgos intrínsecos de la semilla, por lo que no existe un único factor determinante sino un entramado de condiciones que operan de forma simultánea. En especies forestales, esta interacción resulta especialmente crítica debido a la amplia diversidad de comportamientos de semilla, la estacionalidad de la producción y la sensibilidad a microambientes de vivero y bosque (Utello et al., 2023).

2.8 Importancia y manejo del cedro (*Cedrela odorata*) en vivero forestal

El nombre cedro en América agrupa ocho o más especies afines del género *Cedrela*. Su distribución natural se extiende por el continente desde las Antillas y México hasta el norte de Argentina, con exclusión de Chile (Quintero-García & Jaramillo-Villegas, 2012). La especie ocupa sobre todo bosques húmedos de tierras bajas de la América tropical, donde mantiene poblaciones amplias y, en algunos casos, discontinuas según el relieve y el régimen de precipitaciones (Calvé-Jarque et al., 2020).

Se reconoce como originario del arco antillano Antillas Mayores y Menores hasta Trinidad y Tobago y nativo en la franja tropical del continente americano. Más allá de ese rango, su presencia aumentó por cultivo y programas de reforestación, favorecidos por la buena calidad

tecnológica de su madera, lo que amplió su área de ocurrencia y su uso en distintos países (Galarza, 2021).

2.8.1 Cedro ecuatoriano y su rol en la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES)

El cedro ecuatoriano forma parte del Apéndice II de CITES, categoría que exige permisos de exportación y un dictamen de “no perjuicio” que demuestre que el comercio internacional no afecta la supervivencia de la especie (Galarza, 2021). Esta inclusión protege al cedro en mercados externos y obliga a trazabilidad y cupos; sin embargo, no regula automáticamente la tala ni el movimiento dentro del territorio nacional, por lo que la gestión interna depende de normas y controles locales (Espinoza, 2023).

En el contexto ecuatoriano, especialistas del INABIO (Instituto Nacional de Biodiversidad del Ecuador) han señalado que la pérdida de árboles maduros altera procesos ecológicos y afecta interacciones de flora y fauna, lo que justifica reglas más estrictas en el comercio interno.

2.8.2 Origen, distribución y fenología

Tabla 7. Clasificación taxonómica de *Cedrela odorata* L

Clasificación	Taxonomía
Dominio	Eukaryota
Reino	<i>Plantae</i>
Filo	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Sapindales</i>
Familia	<i>Meliaceae</i>
Género	<i>Cedrela</i>
Especie	<i>Cedrela odorata</i>

Nota. Tomado de Espinoza, (2023).

2.8.3 Descripción botánica y propiedades de la madera

Cedrela odorata alcanza hasta 40 m de altura y 2 m de diámetro, con fuste cilíndrico, copa amplia y aletas basales en suelos someros (Galarza, 2021). La corteza se presenta agrietada y exfoliable, de tono gris externo y tejido vivo rosado a pardo rojizo. Las hojas son paripinnadas, con 5–11 pares de folíolos opuestos y láminas lanceoladas a ovales. La floración ocurre en panículas con flores pequeñas, blanquecinas a crema (Penagos et al., 2003).

La madera ofrece albura grisácea y duramen pardo rojizo con olor característico; trabaja con facilidad en aserrado y acabado, y muestra resistencia moderada a hongos e insectos (Rocas,

2003). La gravedad específica alrededor de $0,36 \text{ g cm}^{-3}$ respalda su uso en muebles, carpintería y construcción ligera (Instituto Nacional de Bosques, 2017).

2.8.4 Semilla y abastecimiento de material genético

El fruto es una cápsula leñosa que libera semillas sacaroideas aladas, oblongas a elípticas con longitudes aproximadas de 1,2–3 cm y anchos de 5–8 mm. Cada cápsula contiene 25–40 semillas fértiles y el rendimiento promedio reportado ronda 54 000 semillas/kg, con variación atribuida a procedencia y manejo (Quintero-García & Jaramillo-Villegas, 2012). Para vivero, la especie no presenta dormancia fuerte; el remojo corto en agua, la siembra superficial y sustratos aireados suelen resultar suficientes para lograr emergencia uniforme (Ramírez-García et al., 2008).

Figura 2. Semilla de cedro (*Cedrela odorata*)



Nota. Tomado de (Ramírez-García et al., 2008).

ANTECEDENTES

INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES AFINES AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En un estudio comparativo con especies maderables útiles, *Cedrela odorata* mostró mejor germinación y desempeño de plántulas cuando las semillas recibieron “priming” natural (entierro en suelo por pocos días dentro de malla, luego secado breve) en comparación con testigos; el hidropriming no superó al priming natural para *Cedrela* (sí para otras especies). Se evaluó también germinación a 25 °C y 25/35 °C; el priming natural redujo el “lag” de germinación y mejoró variables de establecimiento en vivero/campo (Peraza et al., 2025).

Chan-Quijano et al. (2012), evaluaron la germinación de varias especies en suelos contaminados, incluyendo cedro (*C. odorata*) con remojo en agua por 6, 12, 24 y 34 h vs. control. En *Cedrela odorata*, el remojo 6 h alcanzó 100% de germinación; 12 h = 96%, 24 h = 90%, y 34 h redujo a 73%. La germinación inició entre días 4–6. Conclusión práctica: los remos cortos (6–12 h) pueden maximizar porcentaje y acortar el inicio; remos excesivos pueden disminuirlo.

Peraza-Villarreal et al. (2018), compararon hidropriming (hidratar y deshidratar antes de la siembra) y priming natural (entierro de las semillas en suelo y posterior desecado) en cuatro especies útiles, incluida *C. odorata*. En *Cedrela*, el entierro 48 h en maceta (bajo sombra) fue suficiente para inducir priming y mejorar la germinación y el desempeño frente al control; recomiendan priming natural para *A. saman*, *C. odorata* y *S. macrophylla*, por ser barato y fácil de aplicar en restauración.

Cedrela odorata L., especie clave para la industria forestal mexicana, enfrenta limitaciones por plagas, escasez de semilla y baja viabilidad en almacenamiento. Se evaluó la germinación in vitro de semillas de nueve familias superiores (huerto semillero sexual extinto), probando el efecto de la escarificación y diez medios: MS, WPM, B5, SH y agua destilada, con y sin carbón activado. La escarificación proporcionó 52,8 % de germinación y menor contaminación. MS + carbón activado logró el 59,5 % de germinación, superando al resto. Hubo diferencias significativas entre familias para germinación y contaminación. La combinación escarificación + MS con carbón activado maximizó la germinación, respuesta observada en tres familias. Estos resultados apoyan protocolos de propagación masiva con pretratamiento físico y uso de MS suplementado acelerar avances genéticos (Sampayo-Maldonado et al., 2017).

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Descripción del sistema

El sistema correspondió a un esquema de pregerminación y establecimiento en vivero para *Cedrela odorata* L., organizado en etapas secuenciales y controladas. El flujo operativo siguió el diagrama proporcionado, con la modificación deliberada de que ambos tratamientos de pregerminación se evaluaron durante cinco días, con el fin de permitir comparaciones directas bajo el mismo tiempo de exposición y reducir sesgos asociados a la duración del tratamiento.

La operación inició con la recepción, selección y limpieza de la semilla. Se separaron semillas íntegras mediante inspección visual y se aplicó una prueba de flotación para descartar vacías o dañadas. Cada lote se registró y se acondicionó en recipientes limpios para asegurar trazabilidad. Posteriormente se realizó la desinfección superficial mediante inmersión en hipoclorito de sodio al 2 % durante 10 min, seguida de tres enjuagues consecutivos con agua potable para eliminar residuos del desinfectante.

Concluida la desinfección, las semillas se sometieron a un remojo hídrico por 48 h a temperatura ambiente con recambio de agua cada 12–24 h. Finalizado el remojo, se escurrieron sobre papel absorbente hasta retirar el exceso de humedad y se etiquetaron por lote con fecha y hora. La asignación a tratamientos se efectuó de manera aleatoria simple, con igual número de unidades por tratamiento. El Tratamiento 1 (T1) utilizó una mezcla orgánica liviana compuesta por compost, aserrín de balsa y arena de río. El Tratamiento 2 (T2) empleó una mezcla fibrosa–mineral integrado por cascarilla de arroz, tierra de cacao, humus y arena fina.

En ambos casos, la pregerminación se mantuvo exactamente cinco días bajo condiciones homogéneas: sombra del 50–60 % y riegos en láminas cortas y frecuentes para sostener humedad próxima a capacidad de campo sin inducir anoxia. Las bandejas o canteros presentaron drenaje eficiente y superficies niveladas. Se efectuó un control diario de temperatura del lecho y del estado hídrico del sustrato.

El trasplante a funda se realizó cuando la semilla mostró radícula visible y estable. La siembra se efectuó a una profundidad de 1–1,5 cm, con orientación del ala hacia la superficie cuando correspondía, para facilitar la emergencia. El manejo en vivero se extendió por 30 días posteriores al trasplante, con riego homogéneo según demanda, control graduado de sombra y nutrición de arranque conforme al plan del vivero. Se implementó vigilancia fitosanitaria para prevenir damping-off y la aparición temprana de plagas.

Las evaluaciones incluyeron lecturas de germinación en los días 7, 14 y 21, con criterio de radícula visible como evidencia inequívoca de germinación. A los 30 días pos-trasplante se midieron altura de planta, diámetro del cuello y número de hojas; adicionalmente se determinó el porcentaje de supervivencia y la incidencia de damping-off. Para control de calidad y bioseguridad se verificó la concentración y el tiempo de exposición al desinfectante, se registró cada recambio de agua durante el remojo, se calibró la sombra en 50–60 % y, cuando resultó pertinente, se controlaron la conductividad eléctrica y el pH del agua de riego. Superficies y herramientas se limpiaron antes de cada etapa para minimizar contaminación.

Tabla 8. *Desglose de costos de adquisición e instalación del sistema de riego del vivero*

Concepto	Valor (USD)
Manguera 1" súper reforzada (rollo 150 m)	127,50
Bomba de agua	280,00
Manguera (10 m)	10,00
Acoples, abrazaderas, uniones, teflón (varios)	75,41
Abrazaderas, uniones, teflón (varios)	59,50
Manguera negra 3/4" (15 m)	5,25
Amarra plástica + teflón	6,50
Materiales de obra (arena, ripio, cemento)	17,00
Aspersor plástico 3/4" (10 und × 3,50)	35,00
Semilla de cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.)	56,90
TOTAL	673,06

El análisis del desglose evidenció que la bomba de agua representó el rubro de mayor peso, al concentrar 41,60 % del presupuesto total (280,00 USD), lo que reflejó la importancia del equipo motriz dentro del sistema hidráulico; la conducción y los accesorios mangueras, acoples, abrazaderas, teflón y amarres alcanzaron en conjunto 42,22 % (284,16 USD), porcentaje que subrayó la necesidad de garantizar líneas de distribución resistentes y flexibles; los aspersores adicionaron 5,20 % (35,00 USD), completando el componente de distribución de riego.

En contraste, los materiales de obra (arena, ripio y cemento) apenas supusieron 2,53 % (17,00 USD), lo que indicó que la infraestructura civil resultó relativamente económica frente a los elementos hidráulicos. Finalmente, la semilla de *Cedrela odorata* implicó 8,45 % del gasto global (56,90 USD), proporción que, si bien menor al hardware hidráulico, confirmó su relevancia como insumo biológico estratégico para la producción; en términos absolutos, el sistema requirió 673,06 USD, distribuidos de forma tal que más del 89 % se destinó a asegurar disponibilidad y conducción de agua, mientras cerca del 11 % cubrió insumos de propagación

y obras menores, equilibrio que demostró que la eficiencia hídrica se erigió en el eje financiero del proyecto.

3.2 Diseño y selección de tecnologías a implementar

El esquema hidráulico parte de una fuente superficial conectada a una bomba centrífuga autocebante de eje horizontal (1 HP), dimensionada para entregar en la descarga un caudal nominal próximo a $0,80 \text{ L s}^{-1}$ y una presión dinámica total de 22–25 m c.a., valores suficientes para alimentar el bloque único de aspersión sin recurrir a presurización adicional. Desde la impulsión, el agua se conduce por una línea principal de PVC-U Ø 38 mm (1 ½") a lo largo de 80 m hasta el perímetro del vivero; dicho diámetro garantiza pérdidas por fricción inferiores a 0,6 m c.a. (velocidad = $0,70 \text{ m s}^{-1}$), de modo que la mayor parte de la carga manométrica se conserva para las líneas secundarias.

En el acceso al recinto se instaló un manifold vertical con válvula de bola y punto de drenaje, seguido de una derivación hacia un circuito rectangular cerrado Ø 32 mm (1 ¼") que rodea el cantero y asegura distribución isobárica; la condición de anillo evita gradientes de presión superiores a 1 m c.a. entre la entrada y el extremo opuesto, preservando la uniformidad de aplicación (Keller & Bliesner, 1990).

Dentro del marco de 6 m × 12 m (72 m²) se dispusieron tres laterales internas de PVC Ø 20 mm (¾") orientadas longitudinalmente y equiespaciadas. Cada lateral porta tres aspersores de impacto plástico ¾", boquilla de 3,2 mm, caudal unitario de 150 L h^{-1} y radio efectivo de 2,25 m a 210 kPa. La trama resultante es un retículo rectangular de 3,0 m × 2,5 m cuyo traslape cubre el área con un coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) proyectado del 83 %, valor adecuado para viveros forestales donde la tolerancia a la variabilidad hídrica supera el 80 % (ASABE S436.4). El gasto simultáneo del bloque alcanza $2\,700 \text{ L h}^{-1}$ ($0,75 \text{ L s}^{-1}$), por lo que la bomba trabaja cerca de su punto de mejor eficiencia y mantiene la presión requerida tras compensar 2,2 m c.a. de pérdidas distribuidas y 1,0 m c.a. en accesorios.

El control operativo es manual mediante la válvula del manifold, decisión coherente con la pequeña escala del sistema y la disponibilidad de mano de obra; no obstante, la instalación admite un programador de 24 V AC y solenoide para automatizar la frecuencia de riego en función de la evapotranspiración diaria y reducir así consumo energético y riesgo de sobresaturación del sustrato. Se incluyó un filtro de malla de 130 µm en la entrada de la línea principal para evitar obturación de boquillas, así como un venturi de ¾" opcional que permitirá fertirriego con soluciones diluidas de macro- y micronutrientes. Toda la red opera a una presión

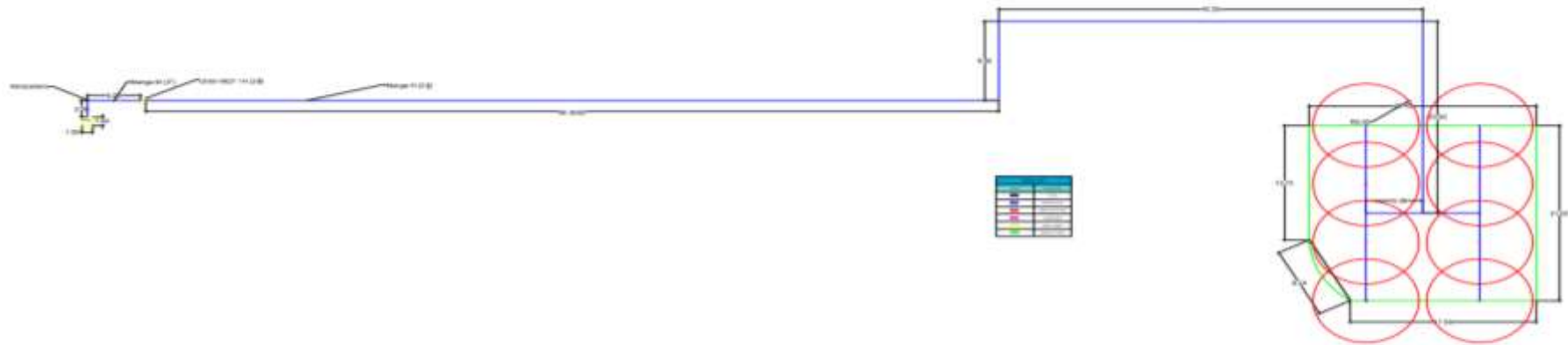
de diseño inferior al 65 % de la presión nominal del PVC-U (PN10), con un resorte amortiguador en la descarga inmediata de la bomba para mitigar golpes de ariete.

En términos de sostenibilidad, la elección de aspersores de impacto plástico brinda resistencia a la corrosión y fácil recambio de boquillas; su distribución en bloque único limita la complejidad operativa y simplifica el balance hídrico. La eficiencia volumétrica relación entre agua infiltrada y agua emitida se estima en 78 %, aceptable para sustratos bien drenados con fracciones de arena superiores al 50 %.

El sistema capta el recurso hídrico directamente del cauce del Río Suma, cuyo caudal medio en el punto de toma es de $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, valor que garantiza una oferta continua holgadamente superior al requerimiento instantáneo ($0,80 \text{ L s}^{-1}$) y proporciona un margen de seguridad para futuras ampliaciones o la integración de módulos de fertirriego.

Finalmente, la uniformidad lograda y la capacidad de suministro permitieron aplicar riegos controlados durante cinco días consecutivos sobre los sustratos experimentales, condición imprescindible para estandarizar los tratamientos pregerminativos y asegurar que la humedad permaneciera dentro del rango óptimo de imbibición durante todo el periodo de evaluación.

Figura 3. Sistema de riego de ocho aspersores



Leyenda:

1. Captación en río con manguera de succión reforzada y válvula de pie con colador
2. Bomba centrífuga superficial con válvula de retención
3. Conducción principal enterrada con uniones y abrazaderas
4. Válvula de corte antes de ingresar al vivero
5. Derivación en "L" dentro del vivero
6. Línea de distribución central
7. Matriz de aspersores 360° con solape de cobertura
8. Área de plantas en contenedores.

3.3 Plan de implementación

Tabla 9. Plan de implementación del sistema de pregerminación para semilla de *Cedrela odorata* L.

Paso	Periodo	Actividades clave
1. Preparativos logísticos y administrativos	Semana –1 (5 días antes)	• Elaborar orden de trabajo y lista de insumos • Verificar bomba, red y filtro de malla 130 μm
2. Selección y acondicionamiento de semilla	Día 0 (mañana)	• Inspección visual y descarte de semillas dañadas • Prueba de flotación (3 min) • Etiquetado por lote y registro en inventario
3. Desinfección superficial	Día 0 (tarde)	• Inmersión 10 min en hipoclorito 2 % con agitación • Triple enjuague con agua potable • Escurreo sobre gasa estéril
4. Remojo hídrico controlado	Días 1 – 2	• Remojo 48 h (relación 1:3, recambio a las 24 h) • Medir C° ambiente y pH del agua en cada recambio • Escurreo suave tras 48 h
5. Asignación a tratamientos y pregerminación	Días 2 – 7	• Dividir semilla (T1 y T2) y sembrar en bandejas • Colocar bajo malla sombra 50–60 % • Riego: pulsos de 1 min cada 2 h (sistema CUC 83 %) • Registrar C° del sustrato, HR y germinación diaria
6. Trasplante a fundas	Día 7	• Trasplantar cuando ≥ 75 % con radícula visible • Profundidad 1–1,5 cm; ala expuesta u horizontal • Mantener sombra ligera 10 días; riego 4 min días alternos
7. Control de calidad y registros	Días 0 – 30	• Registrar cada operación (fecha, hora, responsable) • Vigilar contaminación fúngica y plagas • Validar humedad de sustrato (gravimétrico rápido)
8. Indicadores de éxito	Día 7 y Día 30	Día 7: ≥ 80 % germinación, contaminación ≤ 5 %, CV ≤ 10 % Día 30: ≥ 90 % supervivencia, altura ≥ 8 cm, DAP ≥ 2 mm
9. Evaluación y retroalimentación	Día 31	• Elaborar informe comparativo T1 vs T2 (germinación, vigor, recursos) • Proponer ajustes en remojo, riego o sustrato

3.4 Descripción y pruebas de funcionamiento del equipo

Descripción	Funcionamiento probado	Imagen
Estructura túnel plástico para pregerminación (arcos de bambú + cubierta de polietileno)	Se verificó estabilidad mecánica midiendo largo y ancho con cinta métrica para confirmar dimensiones internas útiles ($\approx 6 \text{ m} \times 2 \text{ m}$); la prueba incluyó inspección de tensado y ausencia de desgarros en la lámina.	
Punto de captación y línea de succión (manguera Ø 1" desde río)	Se comprobó la inserción hermética de la manguera en la bomba mediante cebado manual; la prueba de flujo confirmó caudal continuo sin entrada de aire ni fugas en un tramo de 8 m hasta el río.	
Aspersor de impacto y lateral de riego en cantero bajo malla sombra	Se validó la rotación completa del aspersor a 210 kPa y su alcance efectivo (radio $\approx 2,25 \text{ m}$); se midió la lámina emitida durante 60 s para estimar caudal unitario ($\approx 150 \text{ L h}^{-1}$).	
Semilla escarificada de <i>Cedrela odorata</i>	Se realizó corte visual para confirmar apertura homogénea de la testa; la prueba de imbibición mostró hidratación uniforme tras 2 h en agua, sin presencia de hongos.	
Mezcla de sustratos (cascarilla de arroz, tierra de cacao, humus, compost, arena)	Se homogeneizó la mezcla y se determinó humedad inicial (gravimétrica) y densidad aparente; la prueba de retención hídrica evidenció capacidad de campo adecuada, sin encharcamiento.	

3.5 Resultados

3.5.1 Impacto de la frecuencia de riego en la pregerminación y el desarrollo posgerminativo de semillas de *Cedrela odorata* L.

La presente sección sintetiza los hallazgos obtenidos al evaluar cómo diferentes frecuencias de riego influyeron en el éxito de dos tratamientos pregerminativos T1 (compost + aserrín + arena de río) y T2 (cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus + arena fina) aplicados a semillas escarificadas de *Cedrela odorata* L. Durante los cinco días de pregerminación y los treinta días posteriores al trasplante se registraron porcentaje de germinación, tiempo medio de emergencia, supervivencia, altura y diámetro del cuello.

El análisis integró comparaciones entre riegos pulsados de alta frecuencia (1 min cada 2 h) y riegos alternos de baja frecuencia (4 min cada 48 h), lo que permitió determinar el régimen hídrico que optimiza tanto la sincronía de imbibición como el vigor inicial de las plántulas.

3.5.2 Porcentaje de germinación de la semilla de *Cedrela odorata* L.

A los siete días de evaluación, la mezcla Compost + aserrín de balsa + arenilla de río alcanzó el 18 % de germinación, superando en ocho puntos porcentuales al 10 % registrado por la combinación cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus + arenilla. Al cumplirse catorce días, la brecha se amplió: el primer sustrato acumuló 47 % de semillas germinadas, mientras que el segundo llegó al 41 %. Para el día veintiuno, la diferencia relativa disminuyó ligeramente; sin embargo, el Compost-aserrín-arenilla cerró con un 85 % de germinación total, frente al 76 % obtenido con la cascarilla-cacao-humus-arenilla (Tabla 10).

Tabla 10. Porcentaje de germinación acumulado por tratamiento y fecha de evaluación en semilla de *Cedrela odorata* L. ($n = 100$ semillas por tratamiento)

Tratamiento	7 días	14 días	21 días	Porcentaje acumulado (%)
T1	18 %	47 %	20 %	85 %
T2	13 %	41 %	22 %	76 %

El análisis comparativo mostró que el sustrato Compost + aserrín de balsa + arenilla (T1) alcanzó una germinación media acumulada del 85 %, mientras que la mezcla cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus + arenilla (T2) obtuvo un 76 %. La diferencia entre medias fue de 9 puntos porcentuales. Las varianzas estimadas (0,75 para T1 y 0,45 para T2) fueron

estadísticamente homogéneas, de acuerdo con la prueba de homogeneidad ($p = 0,4373$). Bajo esta condición, la comparación mediante la prueba t arrojó un valor $t = 11,26$ con $p < 0,0001$, evidenciando una separación significativa entre los tratamientos (Tabla 11). Pérez-Flores et al. (2023), menciona que el sustrato enriquecido con compost y aserrín promovió una germinación superior y más uniforme respecto a la mezcla basada en cascarilla y humus (Pérez-Flores et al., 2023).

Tabla 11. Porcentaje de germinación acumulado por tratamiento en semilla de *Cedrela odorata* L.

	T1	T2
Media	85 %	76%
Varianza	0,75	0,45
Media (1)-Media (2)	9 %	
pHomVar	0,4373	
T	11,26	
p-valor	<0,0001	

Nota. Valores en porcentaje (%), Δ = diferencia de media, pHomVar: prueba de homogeneidad de varianzas (Levene).

Torres et al. (2018), quienes observaron que sustratos con mayor fracción orgánica estabilizada incrementaron la germinación de *C. odorata* en hasta 12 % respecto a mezclas más ligeras. El efecto positivo de T1 puede atribuirse a la capacidad del compost para mantener humedad capilar y suministrar macro- y micronutrientes durante la imbibición, mientras que el aserrín fino mejora la aireación sin provocar desecación rápida; características que también han sido destacadas para otros forestales al incorporar compost derivados de braquiaria y residuos lignocelulósicos.

Por el contrario, la cascarilla de arroz presente en T2 aumenta el macroporo y el drenaje, generando perfiles hídricos más fluctuantes. Quinto et al. (2009), documentaron descensos de hasta 15 % en germinación de *C. odorata* cuando la cascarilla superó el 40 % del volumen del medio, atribuidos a déficits de agua en las primeras 48 h críticas

3.5.3 Altura de la planta (cm) a los 30 días postrasplante en *Cedrela odorata* L.

La altura promedio registrada a los 30 días fue de 10,64 cm para el sustrato Compost + aserrín + arenilla (T1) y de 9,30 cm para la mezcla cascarilla de arroz + tierra de cacao + humus + arenilla (T2), con una diferencia absoluta de 1,34 cm. Dado que la homogeneidad de varianzas no fue rechazada (Levene, $p = 0,605$) y la prueba t arrojó un valor de 11,61 ($p < 0,0001$), se

confirma que T1 produjo plántulas significativamente más altas (Tabla 12).

Este comportamiento es coherente con lo reportado por Torres-Torres et al. (2018), quienes observaron incrementos de hasta 12 % en altura cuando *Cedrela odorata* se cultivó en sustratos con alta fracción de compost bajo condiciones de sombra, y con Rodríguez-Solís et al. (2021), que informaron aumentos de 27 % en altura al enriquecer el medio con materia orgánica estabilizada. La superioridad de T1 puede atribuirse a la mayor capacidad de retención hídrica y a la disponibilidad sostenida de nutrientes provenientes del compost, factores que favorecen la expansión celular y el alargamiento hipocotilar en esta fase temprana.

Tabla 12. *Altura de la planta (cm) a los 30 días postrasplante en plantas en cedro*

	T1	T2
Media	10,64 (cm)	9,30 (cm)
Varianza	0,78	1,04
Media (1)-Media (2)	1,34	
pHomVar	0,6048	
T	11,61	
p-valor	<0,0001	

Nota. Valores en centímetros (cm), Δ = diferencia de media, pHomVar: prueba de homogeneidad de varianzas (Levene).

3.5.4 Número de hojas a los 30 días

El recuento promedio de hojas a los 30 días fue muy similar entre los tratamientos: $8,6 \pm 0,50$ hojas en la mezcla Compost + aserrín + arenilla (T1) y $8,1 \pm 1,04$ hojas en la combinación cascarilla + tierra de cacao + humus + arenilla (T2). La prueba de Levene indicó homogeneidad de varianzas ($p = 0,105$), por lo que se aplicó la t de Student para muestras independientes sobre los datos transformados ($\arcseno \sqrt{p}$). El contraste arrojó $t(6) = 1,16$ con $p = 0,061$, valor que no alcanza significación estadística al nivel $\alpha = 0,05$ (Tabla 13).

Tabla 13. *Número de hojas a los 30 días postrasplante en plantas de cedro*

	T1	T2
Media	8,6	8,1
Varianza	2,06	1,04
Media (1)-Media (2)	0,50	
pHomVar	0,1048	
T	11,61	
p-valor	<0,06091	

Nota. Δ = diferencia de media, pHomVar: prueba de homogeneidad de varianzas (Levene).

Estos resultados sugieren que, aun cuando el compost y el aserrín proporcionaron un entorno ligeramente más favorable para la expansión foliar, la diferencia de 0,5 hojas por plántula no fue suficiente para distinguir los tratamientos de forma estadísticamente robusta a la cuarta semana de vivero. Observaciones similares fueron descritas por Moreno-Ardila, (2020), quien encontró diferencias no significativas en número de hojas entre sustratos turba-perlita y combinaciones con cascarilla cuando las alturas y diámetros todavía se encontraban por debajo de los 15 cm; el autor concluye que el efecto de la mezcla se vuelve más evidente después de los 60 días, una vez que la planta entra en aceleración de crecimiento.

Herón (2023), informa que la aplicación de micorrizas y bacterias rizosféricas elevó significativamente el número de hojas solo a partir del tercer mes, destacando la dependencia de esta variable a factores nutricionales y al establecimiento radicular.

3.5.5 Diámetro del tallo (mm) a los 30 días

El sustrato Compost + aserrín + arenilla (T1) produjo plántulas con un diámetro medio de 1,98 mm, valor 12,5 % superior al 1,76 mm obtenido con la mezcla cascarilla + tierra de cacao + humus + arenilla (T2). La diferencia de medias (0,22 mm) fue estadísticamente significativa ($t(6) = 5,43$; $p < 0,0001$), aun cuando las varianzas no resultaron homogéneas ($p_{\text{homvar}} = 0,0101$).

Tabla 14. Diámetro del tallo (mm) a los 30 días por en semilla de *Cedrela odorata* L.

	T1	T2
Media	1,98	1,76
Varianza	0,22	0,11
Media (1)-Media (2)	1,05	
pHomVar	0,0101	
T	5,43	
p-valor	<0,0001	

Nota. Valores en diámetro (mm), Δ = diferencia de media, pHomVar: prueba de homogeneidad de varianzas (Levene).

El mayor espesor de tallo en T1 coincide con lo reportado por Rodríguez-Solís et al. (2021), quienes señalaron incrementos cercanos al 15 % en diámetro de *Cedrela odorata* al incorporar compost estabilizado en el sustrato. Asimismo, Badilla y Moya (2014) destacaron que diámetros superiores a 1,8 mm a los 30–40 días se asocian con menores pérdidas por “damping-off” y mejor supervivencia pos-trasplante.

3.5.6 Supervivencia e incidencia de damping-off a los 30 días

Transcurridos 30 días pos-trasplante, el lote completo de plántulas presentó 100 % de supervivencia y 0 % de incidencia de *damping-off*. La ausencia de mortalidad y de síntomas fitopatológicos confirma que el protocolo de pregerminación, la desinfección de semillas y sustratos, el régimen de riego y la cobertura de sombra proporcionaron un microambiente óptimo para el establecimiento inicial de *Cedrela odorata* L. Estos valores superan el umbral operativo de viveros tropicales (≥ 90 % de supervivencia y ≤ 5 % de *damping-off*) reportado por Badilla y Moya (2014) y Rodríguez-Solís et al. (2021), lo que evidencia la eficacia de las prácticas fitosanitarias aplicadas en el presente estudio.

CAPÍTULO IV

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Tras 48 h de imbibición, la mezcla integrada por compost, aserrín de balsa y arenilla de río alcanzó una germinación acumulada del 85 % a los 21 días, superando en nueve puntos porcentuales el 76 % registrado con la formulación a base de cascarilla de arroz, tierra de cacao, humus y arenilla.
- La mayor capacidad de retención hídrica, la porosidad equilibrada y el aporte sostenido de nutrientes del primer sustrato favorecen la imbibición y reactivación metabólica de las semillas de *Cedrela odorata* L. De este modo, el sustrato con compost se consolida como la opción de referencia para pregerminación en viveros tropicales, cumpliendo ampliamente el objetivo comparativo planteado.
- No se registró mortalidad ni síntomas de *damping-off* en ninguno de los tratamientos, lo que confirma la solidez del protocolo de bioseguridad aplicado. Además, el sustrato con compost no solo aceleró la cinética germinativa, sino que también potenció el vigor morfológico inicial de las plántulas sin comprometer su sanidad.

RECOMENDACIONES

- Utilizar la mezcla compost + aserrín + arenilla como sustrato estándar de pregerminación para *Cedrela odorata* en viveros tropicales, debido a su mayor eficacia germinativa y vigor inicial.
- Mantener el protocolo sanitario de desinfección y riego pulsado, dado que garantizó 0 % de mortalidad y ausencia de *damping-off* durante los primeros 30 días.
- Monitorear el número de hojas y el diámetro del tallo más allá de los 60 días para ajustar la frecuencia de riego o suplementar nutrientes si se busca maximizar el crecimiento posgerminativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade-Rodríguez, M., Ayala-Hernández, J., Alia-Tejagal, I., Rodríguez-Mendoza, H., Acosta-Durán, C., & 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.
- Aponte, R. V., Sanmartín, J. C., & Mendoza, N. A. (2011). *Fenología y ensayos de germinación de diez especies forestales nativas, con potencial productivo maderable y no maderable del bosque protector el bosque de la parroquia san pedro de Vilcabamba, Loja*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://agris.fao.org/search/en/providers/124878/records/67124a747f591113e2a57bb0>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Fidia G.
- Calvé Jarque, S., Murillo, O., Córdoba, D., & Salazar, L. (2020). Aporte económico de la madera de cedro (*Cedrela odorata* L.) como árbol de sombra en cafetales de Pérez Zeledón, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(41), 68-77.
- Ceccon, E. (2014). *Restauración en bosques tropicales: Fundamentos ecológicos, prácticos y sociales*. Ediciones Díaz de Santos.
- Cepeda, G. M. C. (2019). Producción de semilla de maíz en el Ecuador: Retos y oportunidades. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(1), 116-123.
- Chan-Quijano, J. G., Ochoa-Gaona, S., Pérez-Hernández, I., Gutiérrez-Aguirre, M., & Saragos-Méndez, J. (2012). Germinación y sobrevivencia de especies arbóreas que crecen en suelos contaminados por hidrocarburos. *Teoría y praxis*, 12, 102-119.
- Espinoza, A. (2023). *Evaluación de cuatro sustratos para la propagación sexual de Cedrela odorata L. (Cedro) a nivel de vivero parroquia Cube provincia de Esmeraldas*. [Tesis de Grado, Escuela politécnica del Chimborazo]. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/941f04a1-781f-4b2f-9568-cab3cc20ac88>
- FAO. (2016). *Semillas nutritivas para un futuro sostenible*. (p. 12) [Gubernamental]. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c0125315-854e-40f5-8a25-8c52af036a13/content>
- FAO. (2020). *El Estado de los Bosques del Mundo 2020 – Los bosques, la biodiversidad y las personas | Recursos genéticos forestales*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (. <https://www.fao.org/forest-genetic-resources/news/detail/es/c/1277048/>
- Galarza, F. (2021). *Evaluación de enraizamiento de estacas de cedro (Cedrela odorata L.) con tres dosis de ácido naftalenacético en vivero, parroquia n Nueva Loja, provincia de*

- Sucumbíos*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo].
<https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/d798cc76-547b-42e0-94b9-2115da5a4bc7>
- González, D., Poma, R., Ordóñez, M., & Aguirre, N. (2010). Crecimiento inicial de *Tabebuia chrysantha* y *Cedrela montana* con fines de rehabilitación de áreas abandonadas en el trópico húmedo en el Trópico Húmedo ecuatoriano. *Ecol. For*, 1(1), 73-80.
- 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=tu&g_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDS-oASAFQAw%3D%3D
- Gutiérrez, B. (2019). Regiones de procedencia un ordenamiento de fuentes semilleras. *Ciencia & Investigación Forestal*, 57-74. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2019.516>
- Herón, Z. (2023). *Biofertilización con rhizophagus intraradices y azospirillum brasilense en cuatro variedades de coffea arabica l. En vivero* [Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS].
<http://148.222.11.200/jspui/bitstream/123456789/4094/1/PS2087%20Zoila%20Del%20Carmen%20Anzueto%20Her%C3%B3n.pdf>
- Hurtado, M. J. R., & Silvente, V. B. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. *Reire*, 5(2), 83-100.
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf.
- Kayode, J., & Agbebi, J. (2006). Eco-physiological studies on *Gmelina arborea*: I. pre-germination treatments and initial growth developments. *Biological Sciences-PJSIR*, 49(6), 423-426.
- Luna, T., Wilkinson, K. M., & Dumroese, R. K. (1949). Seed germination and sowing options. *Nursery manual for native plants: A guide for tribal nurseries*, 1(3), 133-151.
- 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/>
- MAE. (2014). *MAE promueve conservación y recuperación de bosques tropicales*. (Bosques tropicales; Técnico). Ministerio del Ambiente del Ecuador. .
<https://www.ambiente.gob.ec/mae-promueve-conservacion-y-recuperacion-de-bosques-tropicales/>
- Mayoral, M. L. I., Labandera, C., & Sanjuán, J. (2020). *Biofertilizantes en Iberoamérica: Una*

visión técnica, científica y empresarial. Editorial Universitaria (Cuba).

- Merino-Valdés, M., Andrés-Meza, P., Leyva-Ovalle, O. R., López-Sánchez, H., Murguía-González, J., Núñez-Pastrana, R., Cebada-Merino, M., Serna-Lagunes, R., Espinosa-Calderón, A., & Tadeo-Robledo, M. (2018). Influencia de tratamientos pregerminativos en semillas de chile manzano (*Capsicum pubescens* Ruiz & Pav.). *Acta Agronómica*, 67(4), 531-537.
- Mesén, F. (1994). Establecimiento y manejo de rodales semilleros. *curso corto sobre seleccion y manejo de rodales semilleros*, 17.
- Molina Arias, M., Ochoa Sangrador, C., & Ortega Páez, E. (2020). Comparación de dos medias. Pruebas de la t de Student. *Evidencias en Pediatría*, 16(4), 16-51.
- Moreno-Ardila, S. (2020). *Evaluación de sustratos, para la germinación y desarrollo vegetativo de las especies (Theobroma cacao L), (Cedrela odorata L) y (Clathrotropis brunnea A), en el municipio de Girón Santander*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/35151>
- Muñoz Flores, 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.
- Penagos, C. M. O., Restrepo, R. J. H., Valencia, F. A. A., Castaño, J. N. P., & Castaño, J. W. S. (2003). El cedro negro: Una especie promisorio en la zona cafetera. *Boletín Técnico Cenicafé*, 1-40.
- Peraza, H., Sanchez-Coronado, M., & Lindig, R. (2025). Seed Priming Effects on Germination and Seedling Establishment of Useful Tropical Trees for Ecological Restoration. *ResearchGate*, 4(3), 1-14. <https://doi.org/10.1177/1940082918817886>
- Peraza-Villarreal, H., . Sánchez-Coronado, M. E., Lindig-Cisneros, R., Tinoco-Ojanguren, C., Velázquez-Rosas, N., Cámara-Cabrales, L., & Orozco-Segovia, A. (2018). Seed priming effects on germination and seedling establishment of useful tropical trees for ecological restoration. *Tropical Conservation Science*, 11, 1940082918817886.
- Pérez-Flores, J., Hernández-Méndez, N. Y., Sánchez-Gutiérrez, F., Sol-Sánchez, Á., & Suárez-Islas, A. (2023). Fruit characterization and plant quality of Spanish cedar (*Cedrela odorata* L.) during the early nursery stage. *Agro Productividad*.
- Pincay Mero, S. E. (2023). *Efectos del Nitrógeno Líquido como Método de Escarificación para la Germinación de Semillas en tres Especies Forestales* [Tesis de gardo, Universidad Estatal Del Sur De Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5558>
- PNUD. (2022). *Estrategia Nacional de Biodiversidad y Plan de Acción 2020–2030*. Programa

de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
<https://www.undp.org/es/ecuador/publicaciones/estrategia-nacional-de-biodiversidad-2015-2030>

- Quintero-García, O. D., & Jaramillo-Villegas, S. (2012). Rescate y germinación in vitro de embriones inmaduros de cedro negro (*Juglans neotropica* Diels). *Acta Agronómica*, 61(1), 52-60.
- Quinto, L., Martínez-Hernández, P. A., Pimentel-Bribiesca, L., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2009). Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(1), 23-28.
- Quiroz-Marchant, I., García Rivas, E., & Gutiérrez Caro, B. (2012). *Bases para un reglamento de semillas y plantas de especies forestales utilizadas en Chile*. INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/20103>
- Ramírez, J. L., Vallejos, H. V., & Añazco, M. J. (2023). Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Juglans neotropica* Diels. En el norte del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 13(1), 83-93.
- Ramírez, J. M., Alba-Landa, J., Mendizábal-Hernández, L. del C., Ramírez-García, E. O., & Cruz-Jiménez, H. (2009). Fuentes semilleras mejoradas establecidas en el estado de Veracruz. *Foresta Veracruzana*, 11(2), 37-42.
- Ramírez-García, C., Vera-Castillo, G., Carrillo-Anzures, F., & Magaña-Torres, O. S. (2008). El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión de terrenos agrícolas en el sur de Tamaulipas. *Agricultura técnica en México*, 34(2), 243-250.
- Rocas, A. N. (2003). *Cedrela odorata* L. *Tropical tree seed manual: Species descriptions*. Vera Cruz: Instituto de Ecología, 386-389.
- Rodríguez Solís, A., Badilla Valverde, Y., & Moya, R. (2021). Agronomic effects of Tectona grandis biochar from wood residues on the growth of young *Cedrela odorata* plants in a nursery. *Agronomy*, 11(10), 2079.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides Solorio, J. de D., Prieto-Ruiz, J. Á., Sáenz Reytez, 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-Reyetz, 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.
- Sampayo-Maldonado, S., Castillo-Martínez, C., Jiménez-Casas, M., Sánchez-Monsalvo, V., Jasso-Mata, J., & López-Upton, J. (2017). Germinación in vitro de semillas de *Cedrela odorata* L. de genotipos extintos. *Agro Productividad*, 10(8), 53-58.

- Sánchez-Paz, Y., & Ramírez-Villalobos, M. (2006). Tratamientos pregerminativos en semillas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 23(3), 257-272.
- Thompson, J. E. S. (1975). *Historia y religión de los mayas* (Primera edición, Vol. 7). Siglo xxi.
- Torres, J. J. T., Arrollo, H. H. M., & Martinez-Guardia, M. (2018). Germinación y crecimiento inicial de *Cedrela odorata* L.(Sapindales: Meliaceae), empleando semillas silvestres en el departamento del Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 8(1), 22-28.
- Utello, M. J., Tarico, J. C., Demaestri, M. A., & Plevich, J. O. (2023). Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Prosopis caldenia*. *Bosque (Valdivia)*, 44(1), 37-45.
- Varela, S. A., & Arana, V. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. *Sistemas Forestales Integrados*, 3, 1-10.
- Villalba, J. C. V., & Solarte, D. C. (2022). Producción de semillas de especies forestales. *Árboles y semillas para la región cafetera del norte de los Andes*, 31.
- 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.
- Villota-González, F. H., Palacios, W., Villota González, E. J., Bernaola-Paucar, R. M., & Sulbarán-Rangel, B. (2024). Seed Propagation of *Carapa amorphocarpa* W. Palacios Using Various Treatments of Substrates and Mechanical Seed Scarification in a Nursery in the Andean Area of Northwestern Ecuador. *Forests*, 15(6), 987.
- Willan, R. (1985). *A guide to forest seed handling with special reference to the tropics*. (Primera, Vol. 1, Número 20/2).
- Yisau, J. A., Adesewa, A. R., Ndidi, E. P., & Agnes, M. A. (2023). Early Growth Response of *Khaya senegalensis* Seedlings to Water Requirement. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 5(4), 28-31.

ANEXOS

Anexo 1. *Instalación del sistema de riego por aspersión en el vivero de especies forestales nativas tropicales*



Anexo 2. *Instalación de la estructura para realizar los tratamientos pregerminativos*



Anexo 3. Acta de entrega y recepción



Uleam
UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

ACTA DE ENTREGA – RECEPCIÓN

En la ciudad de El Carmen, provincia de Manabí, a los veintiocho (8) días del mes de agosto del año dos mil veinticinco (2025), en las instalaciones de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Extensión El Carmen, se deja constancia que:

Chica Cedeño Miguel Angel
C.I. 1317380986

Domínguez Guña Mavelyn Lisseth
C.I. 2350815524

Holguín Cornejo Jesús Anthony
C.I. 2300342678

Moreira Macay Mónica Cecibel
C.I. 2300143852

Vera Domínguez Helen Valentina
C.I. 1351380652

Zambrano Bazurto Inés Raquel
C.I. 1313641373

Realizan la donación de sistema de riego para la producción de plantas en viveros el cual está instalado en la Granja Experimental Rio Suma misma que cuenta con una bomba de agua marca Ducati de 3HP, un sistema de mangueras negras de $\frac{3}{4}$ de pulgada el cual alimenta los sistemas de aspersión mismo estarán instalados en el vivero junto al área de producción de especies menores, como contribución voluntaria a la Universidad, en el marco de su proceso de titulación, destinada al fortalecimiento institucional de la Extensión El Carmen.

Para constancia de lo actuado, firman en dos ejemplares de igual tenor y valor, los estudiantes y el señor Decano de la Extensión **Dr. Temistocles Bravo Tuárez, Mg.**



Uleam
UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

Atentamente

Chica Cedeño Miguel Angel
C.I. 1317380986

Holguín Cornejo Jesús Anthony
C.I. 2300342678

Vera Domínguez Helen Valentina
C.I. 1351380652

Domínguez Guaña Mavelyn Lisseth
C.I. 2350815524

Moreira Macay Mónica Cecibel
C.I. 2300143852

Zambrano Bazurto Inés Raquel
C.I. 1313641373

RECEPCIÓN:

Dr. Temístocles Bravo Tuárez, Mg.
Decano – Extensión El Carmer

Se adjuntan facturas de compra

Anexo 4. Certificado de similitud

