



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

TESIS DE GRADO

Evaluación de calidad de semillas y plántulas de granadillos (*Dalbergia retusa*), establecidas en diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado como alternativa de restauración ecológica

García R.

Tutor(a)

Mtro. Josué Tomás Urrutia Rodríguez

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL DE ESTELÍ

¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**Centro Universitario Regional de Estelí
CUR-Estelí**

Recinto Universitario “Leonel Rugama Rugama”
Departamento de Ciencias Tecnológicas y Salud

**Evaluación de calidad de semillas y plántulas de
granadillos (*Dalbergia retusa*), establecidas en diferentes
sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado
como alternativa de restauración ecológica**

**Trabajo de investigación para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo**

Roberto José García Rivera

Tutor

Mtro. Josué Tomás Urrutia Rodríguez

10 de diciembre, de 2025



Dedicatoria

Dedico este trabajo, con mucha gratitud y amor, a todas aquellas personas que fueron de inspiración para seguir adelante con el proceso, y que siempre fueron de motivación para alcanzar mis objetivos.

Quiero dedicar este logro tan grande a Dios, y a mis padres, Indira Rivera y Roberto Cruz, por ser piezas fundamentales en mi formación profesional, siendo claves en mi motivación como persona, agradezco de forma especial a mi señor Jesús por todo, que sin él no habría alcanzado este objetivo tan importante de mi vida.

De manera especial, agradezco y dedico todo esto también, a mis abuelos que en ningún momento fueron menos en mi formación, siendo una ayuda desde las oraciones y ejemplos a seguir para mí.

Agradecimiento

Agradezco, ante todo, a Dios, por haberme brindado la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

Extiendo el agradecimiento a mis docentes, quienes durante toda mi formación académica me brindaron sus conocimientos, consejos y acompañamiento, convirtiéndose en una segunda familia.

Con especial gratitud reconozco al tutor de tesis, Profesor Josué Tomas Urrutia, por su orientación, paciencia y valiosas aportaciones que guiaron este trabajo hacia su culminación.

A todos los maestros que formaron parte de mi formación universitaria, gracias por su dedicación, su ejemplo y su entrega al enseñar. Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos, por su amistad, colaboración y aliento, que hicieron de este camino una experiencia inolvidable. Este logro es el reflejo de cada persona que, con su apoyo, fe y cariño, contribuyó a hacer realidad esta meta.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL, ESTELÍ
“2025: Eficiencia y Calidad para seguir en victorias”
Departamento de Ciencias de la Educación y Humanidades

CARTA AVAL DEL TUTOR

Estelí, 10 de diciembre de 2025

Por medio de la presente, en calidad de tutor(a) del trabajo de modalidad de graduación titulado: Evaluación de calidad de semillas y plántulas de granadillos (*Dalbergia retusa*), establecidas en diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado como alternativa de restauración ecológica, elaborado por el estudiante:

Roberto José García Rivera

N° 21504350

Estudiante(s) de la carrera de **Ingeniería Agronómica**, hago constar que he brindado acompañamiento académico y metodológico durante el desarrollo de dicho trabajo, cumpliendo con lo establecido en el cronograma y en la normativa institucional vigente. Asimismo, avalo que el trabajo cumple con los requisitos formales, científicos y éticos exigidos por la Universidad, en cumplimiento de la modalidad de graduación correspondiente.

Atentamente,

Josué Tomás Urrutia Rodríguez

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-37357117>

UNAN-Managua/CUR-Estelí

CC/

Resumen

El granadillo (*Dalbergia retusa* Helms.) es una especie forestal nativa de alto valor económico y ecológico cuya población se ha reducido drásticamente en Mesoamérica debido a la tala y la pérdida de hábitat. Para apoyar su restauración ecológica, se requiere la producción de plántulas vigorosas en vivero. El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad, capacidad de germinación y calidad de las plántulas de *D. retusa* establecidas en diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado (CA). La investigación fue de tipo experimental y cuantitativo, desarrollada en condiciones controladas de vivero en el Centro Universitario Regional de Estelí, UNAM Managua. Se manipuló la dosis de carbón activado en sustratos orgánicos como variable independiente. La metodología incluyó la evaluación de la viabilidad de las semillas mediante patrones radiográficos Rayos X y la medición de variables de crecimiento e índices de calidad de plántulas, como el Índice de Calidad de Dickson (ICD). Los resultados demostraron que la adición de CA incrementó sustancialmente los porcentajes de germinación de las semillas, con mejoras superiores al 24% con respecto al tratamiento testigo. Sin embargo, se observó que las concentraciones más altas de CA se asociaron a una baja supervivencia post-germinación, sugiriendo un posible "efecto sumidero" o adsorción de nutrientes vitales. Se concluyó que el tratamiento con carbón activado al 75% produjo las plántulas con la mejor calidad integral, alcanzando el mayor ICD y el mejor equilibrio morfológico, lo que sugiere una mayor probabilidad de éxito para su establecimiento en programas de restauración ecológica.

Palabras claves: *Dalbergia retusa*; Carbón activado; Viabilidad; Germinación; Calidad de plántulas.

Abstract

Granadillo (*Dalbergia retusa* Helms.) is a native forest species of high economic and ecological value whose population has been drastically reduced in Mesoamerica due to logging and habitat loss. To support ecological restoration, the production of vigorous seedlings in nurseries is required. The objective of this study was to evaluate the viability, germination capacity, and quality of *D. retusa* seedlings established in different organic substrates enriched with activated carbon (AC). The research was experimental and quantitative, developed under controlled nursery conditions at the El Limón Experimental Station. The dosage of activated carbon in organic substrates was manipulated as the independent variable. The methodology included the evaluation of seed viability using X-ray radiographic patterns and the measurement of growth variables and seedling quality indices, such as the Dickson Quality Index (DQI). The results demonstrated that the addition of AC substantially increased seed germination percentages, with improvements exceeding 24% compared to the control treatment. However, it was observed that the highest AC concentrations were associated with low post-germination survival, suggesting a possible “sink effect” or adsorption of vital nutrients. It was concluded that the treatment with activated carbon at 75% produced seedlings with the best overall quality, achieving the highest DQI and the best morphological balance, which suggests a higher probability of success for their establishment in ecological restoration programs.

Keywords: *Dalbergia retusa*; Activated carbon; Viability; Germination; Seedling quality.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	3
3.	Planteamiento del problema	6
4.	Justificación.....	8
5.	Objetivos de investigación	10
5.1.	Objetivo General.....	10
5.2.	Objetivos específicos.....	10
6.	Limitaciones del estudio.....	11
7.	Hipótesis.....	12
8.	Operacionalización de Variables	13
9.	Marco Teórico.....	17
9.1.	Dalbergia retusa (granadillo).....	17
9.1.1.	Taxonomía y distribución geográfica en Mesoamérica.....	17
9.1.2.	Importancia ecológica y económica de la especie.....	18
9.1.3.	Estado de conservación y amenazas (tala selectiva, comercio ilegal, pérdida de hábitat).....	19
9.1.4.	Situación de Dalbergia retusa en Nicaragua.....	19
9.1.5.	Necesidad de restauración ecológica y producción de plántulas de calidad	19
9.2.	Producción de plantas forestales en vivero.....	21
9.2.1.	Rol de los viveros forestales en la restauración ecológica	21
9.2.2.	Prácticas de manejo para producir plantas de calidad	22
9.2.3.	Relevancia del sustrato, humedad, luz y manejo sanitario	22
9.2.4.	Sustratos orgánicos y su importancia en la fase de vivero	23

9.3	Biología y calidad de semillas forestales.....	23
9.3.1	Estructura de las semillas y su papel en la germinación.....	23
9.3.2	Concepto de calidad de semillas.....	24
9.3.3.	Viabilidad, vigor y dormancia	25
9.3.4.	Factores que afectan la viabilidad de semillas forestales (edad, almacenamiento, daños mecánicos, patógenos)	27
9.4	Evaluación de viabilidad de semillas mediante Rayos X.....	28
9.4.1.	Principios físicos del análisis radiográfico en semillas	28
9.4.2.	Normas internacionales para la evaluación radiográfica (ISTA).....	29
9.5.	Germinación de semillas forestales y sus determinantes.....	30
9.5.1.	Concepto de germinación	30
9.5.2.	Etapas fisiológicas de la germinación	30
9.5.3	Factores que influyen en la germinación.....	31
9.5.4	Influencia de los sustratos orgánicos en la germinación de semillas forestales	
	32	
9.6.	Sustratos orgánicos y función del biochar en viveros forestales	33
9.6.1.	Concepto y características de los sustratos orgánicos	33
9.6.2.	Relevancia de los sustratos en viveros forestales	34
9.6.3.	El biochar como mejorador de sustratos en viveros forestales.....	34
9.6.4.	Efectos del biochar en la germinación y crecimiento de plántulas forestales	35
9.6.5.	Relevancia del biochar para Dalbergia retusa en vivero	36
10.	Diseño metodológico.....	37
10.1.	Tipo de investigación.....	37
10.2.	Población y Selección de la Muestra.....	38
10.3.	Técnicas, instrumentos y procedimiento para recolección de datos.....	38
10.4.	Confiablez y validez de los instrumentos	40

10.5.	Consideraciones éticas y de conservación.....	40
11.	Análisis y discusión de resultados	41
12.	Conclusiones.....	49
13.	Recomendaciones	50
14.	Referencias Bibliográficas.....	53
3	Anexos	58

Índice de tablas

Tabla	1.	Operacionalizaciones	de
Variables			1

Índice de figuras

Figura 1. Determinación de la viabilidad de semillas de <i>Dalbergia r.</i> mediante patrones radiográficos	1
.....	29

Figura 2. <i>Efecto de los sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado en el Porcentaje y Velocidad de Germinación de semillas de Dalbergia retusa</i>	32
--	----

Figura 3. <i>Evaluación del Índice de Esbeltez (IE) de plántulas de Dalbergia retusa en los diferentes tratamientos con carbón activado</i>	34
--	----

Figura 4. <i>Determinación del Índice de Calidad de Dickson (ICD) de plántulas de Dalbergia retusa establecidas en diferentes sustratos orgánicos</i>	36
--	----

1. Introducción

La restauración ecológica se ha posicionado como una estrategia prioritaria para la conservación de la diversidad biológica y la recuperación de funciones ecosistémicas en los bosques tropicales. En este contexto, el manejo y la recuperación de especies nativas de alto valor, como el granadillo (*Dalbergia retusa* Helms), son de vital importancia.

Esta especie es altamente valorada por su madera densa, durable y estéticamente apreciada, lo que históricamente ha generado una explotación intensiva en Mesoamérica. Su población se ha reducido drásticamente debido a la tala selectiva, el comercio ilegal de maderas preciosas y la pérdida de hábitat por el cambio de uso de suelo hacia actividades agrícolas y ganaderas (Ver Capítulo 2 - Marco Teórico). Esta problemática ha limitado su regeneración natural y ha provocado una baja densidad de árboles semilleros en el medio, situando a *D. retusa* como una especie en riesgo.

Por ello, la restauración ecológica con esta especie es una necesidad. Para que la restauración sea exitosa, es crucial contar con semillas de calidad y plántulas vigorosas producidas en vivero, un requisito fundamental en los programas forestales (Perman et al., 2012; Rodríguez, 2010; SEMARNAT, 2022).

No obstante, existe una falta de información específica sobre el comportamiento de las semillas y plántulas de *D. retusa* en distintos sustratos orgánicos, y menos aún sobre el efecto que el carbón activado (biochar) puede tener como enmienda para mejorar su calidad y aumentar el éxito de la restauración, representando un área de investigación clave en tecnologías de producción forestal (Valdivia, 2024).

En respuesta a esta necesidad de conocimiento para el diseño de estrategias de manejo en vivero, la presente tesis se titula: "Evaluación de la calidad de semillas y plántulas de granadillos (*Dalbergia retusa*) establecidas en diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado como alternativa de restauración ecológica".

El objetivo general de este trabajo es: Evaluar la viabilidad, capacidad de germinación y calidad de plántulas de la especie *Dalbergia retusa* establecidas en diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado. El alcance de esta investigación se centra en la fase de vivero y busca específicamente: evaluar la viabilidad de las semillas mediante

patrones radiográficos Rayos X, comparar el efecto de diferentes sustratos en la velocidad y porcentaje de germinación, y determinar el efecto de los sustratos sobre el crecimiento e índices de calidad de las plántulas de *D. retusa*.

Para lograr este propósito, el documento se estructura en capítulos que comienzan con los Antecedentes que contextualizan el tema y la Justificación de la investigación, seguidos por la presentación formal del Planteamiento del Problema y los Objetivos e Hipótesis del estudio. Posteriormente, se desarrolla el Marco Teórico con la revisión de literatura clave sobre la especie, la producción en vivero y el uso de biochar. Finalmente, se detalla el diseño metodológico, se presentan y discuten los resultados obtenidos, y se exponen las conclusiones y recomendaciones derivadas de la evaluación.

2. Antecedentes

Antecedente Internacional

Gopinandhan y Channabasamma (2025), evaluaron el biochar de cáscara de café como sustituto de componentes en la mezcla de vivero para plántulas de café en la Central Coffee Research Station, India. El estudio buscó mejorar el crecimiento de las plántulas y la sostenibilidad de la producción. Utilizaron un diseño experimental con cuatro tratamientos de sustrato, comparando la mezcla tradicional (suelo de monte, estiércol y arena) con tres mezclas que incorporaban biochar. Las mediciones de crecimiento y propiedades del sustrato mostraron que una sustitución moderada, con alrededor del 2 % de biochar, resultó en plántulas con crecimiento similar o superior al testigo. Además, esta mezcla mejoró la estructura y la retención de agua del sustrato. Concluyeron que el biochar de cáscara de café puede sustituir parcialmente la arena en las mezclas, ofreciendo una opción más sostenible para la producción de plántulas de café.

En relación con el estudio sobre *Dalbergia retusa*, este antecedente internacional muestra que el uso de materiales carbonizados (biochar) en sustratos orgánicos puede mejorar tanto las propiedades del sustrato como la calidad de las plántulas. Aunque se trabajó con café y no con granadillo, apoya la idea de que enriquecer los sustratos con carbón activado o biochar puede ser una estrategia efectiva para producir plántulas de buena calidad, útiles en procesos de restauración ecológica.

Antecedente Nacional

Cruz (2017)₂ desarrolló la tesis “Respuesta de cacao (*Theobroma cacao L.*) y Teca (*Tectona grandis L.F.*) a la micorrización durante la etapa de vivero, Kukra Hill, RACCN, Nicaragua” con el objetivo de generar información sobre el efecto de hongos formadores de micorrizas nativas en el crecimiento y desarrollo de plántulas de cacao y teca en vivero. El estudio se llevó a cabo en Kukra Hill, Región Autónoma de la Costa Caribe Norte, utilizando como muestra plántulas de ambas especies sembradas en bolsas de vivero durante 90 días

(cacao) y 120 días (teca), organizadas en once tratamientos con diferentes combinaciones de sustrato de finca y suelos con poblaciones nativas de micorrizas.

Se empleó un diseño experimental donde se midieron variables de altura, número de hojas, diámetro de tallo, biomasa fresca y seca, área foliar, así como el índice de esbeltez, el índice de calidad de Dickson y el porcentaje de colonización micorrízica. Los resultados mostraron que la micorrización favoreció el crecimiento en vivero, con algunos tratamientos presentando mayores valores de biomasa y mejor calidad de planta; además se identificaron géneros de micorrizas como *Glomus*, *Scutellospora* y *Acaulospora* colonizando las raíces. El autor concluyó que las micorrizas nativas tienen un efecto positivo en la calidad de plántulas de cacao y teca y representan una herramienta útil para mejorar la producción de plantas forestales en Nicaragua.

Este antecedente nacional se relaciona con la investigación porque también busca mejorar la calidad de plántulas forestales en vivero, aunque en este caso el factor de manejo es la micorrización y no el carbón activado. Sin embargo, ambos trabajos comparten la idea de modificar el sistema suelo-raíz (sustratos y enmiendas) para lograr plántulas más vigorosas y con mejores índices de calidad, lo cual es clave cuando se piensa en la restauración ecológica y en el establecimiento exitoso de especies como *D. retusa* en campo.

Antecedente Local

González y otros (2020) realizaron en la UNAN-Managua, FAREM-Estelí, la tesis titulada “Efectos del Biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados”, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes dosis de biochar como enmienda de suelo sobre el crecimiento y la sobrevivencia de plántulas de seis especies forestales de bosques secos tropicales. El trabajo se llevó a cabo en vivero, usando como muestra 600 plántulas (una planta por bolsa, 20 repeticiones para cada combinación de especie y tratamiento) de *Cedrela odorata*, *Swietenia humilis*, *Tabebuia rosea*, *Cordia alliodora*, *Guazuma ulmifolia* y *Crescentia alata*. Se aplicaron cinco dosis de biochar (0; 0,25; 2,5; 10 y 20 % del volumen de la bolsa) en un diseño completamente al azar, y las plantas permanecieron 100 días en vivero. Se midieron altura, diámetro al cuello de la raíz, índices de esbeltez y de calidad de Dickson, biomasa seca de raíz, tallo y hojas, y variables relacionadas con contenido de clorofila y lignina. Los

resultados mostraron diferencias significativas entre especies y tratamientos; en general, las plántulas produjeron mayor biomasa aérea total con una dosis intermedia de biochar (alrededor de 2,5 %) y mayor biomasa de raíz con dosis más altas (10 %). Los autores concluyeron que el biochar tiene un gran potencial como enmienda de suelo para mejorar el crecimiento y la calidad de plántulas forestales destinadas a la restauración de suelos degradados en la región de Estelí.

Este antecedente local es muy cercano al tema, porque también se centra en especies forestales nativas, producción de plántulas en vivero, uso de biochar y restauración de suelos degradados. Aunque ellos trabajan con varias especies y este se enfoca en granadillo (*Dalbergia retusa*) y en sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado, ambos estudios comparten la misma lógica: probar diferentes mezclas o dosis de material carbonizado en el sustrato para ver cómo cambian el crecimiento, la biomasa y los índices de calidad de las plántulas. Sus resultados apoyan la idea de que existe una dosis óptima de biochar o carbón activado en el sustrato, lo cual es muy útil para definir tratamientos y expectativas en tu investigación de calidad de semillas y plántulas como alternativa para la restauración ecológica.

3. Planteamiento del problema

La *Dalbergia retusa* (granadillo) es una especie forestal de alto valor económico por la calidad de su madera, lo que ha favorecido su aprovechamiento intenso en los países de Mesoamérica. En diferentes informes regionales se ha documentado que las especies del género *Dalbergia* han sufrido una fuerte reducción de sus poblaciones debido a la tala selectiva, el comercio ilegal de maderas finas y la pérdida de hábitat, hasta el punto de ser consideradas en riesgo de extinción en varias zonas de su distribución (Meyrat, 2023). En el caso de *D. retusa*, se reporta que cada vez es más difícil encontrar individuos adultos en estado silvestre, y que en muchos sitios la especie se considera escasa o comercialmente agotada, lo que limita la producción de semillas y la regeneración natural de los bosques donde antes era frecuente.

En Nicaragua, la situación de *D. retusa* no es ajena a esa realidad. De acuerdo con reportes técnicos y con la experiencia de especialistas forestales, la especie ha sido afectada por la tala indiscriminada, la venta ilegal de madera y el cambio de uso del suelo hacia actividades agrícolas y ganaderas. Esto ha provocado que en varias áreas el granadillo se encuentre en muy baja densidad, con pocos árboles semilleros disponibles y con una regeneración natural limitada. La poca cantidad de árboles en el medio impide que la especie se expanda de forma natural y aumenta el riesgo de que sus poblaciones se sigan reduciendo si no se toman medidas de conservación y manejo.

Ante este contexto, la restauración ecológica de áreas degradadas con especies nativas de alto valor, como *D. retusa*, se vuelve una necesidad. Sin embargo, para poder restaurar, primero se requiere contar con semillas de calidad y plántulas vigorosas producidas en vivero. El análisis de estudios previos sobre producción de plantas forestales muestra que la calidad del sustrato y el uso de enmiendas orgánicas influyen de manera directa en la germinación, el crecimiento inicial y la formación de raíces fuertes, factores que determinan el éxito del trasplante a campo. A pesar de ello, se dispone de poca información específica sobre el comportamiento de las semillas y plántulas de *D. retusa* en diferentes sustratos orgánicos, y menos aún sobre el efecto del carbón activado como componente de esos sustratos.

En este contexto, surge la necesidad de investigar cómo responden las semillas y plántulas de granadillo cuando se establecen en diferentes sustratos orgánicos enriquecidos

con carbón activado, y cómo estas combinaciones influyen en su calidad. El problema central que aborda la investigación es la falta de conocimiento sobre la calidad de semillas y plántulas de *D. retusa* producidas en distintos sustratos orgánicos con carbón activado, lo cual dificulta el diseño de estrategias de restauración ecológica que incluyan a esta especie. Comprender esta relación permitirá proponer alternativas de manejo en vivero que contribuyan a la conservación de la especie y a la recuperación de los ecosistemas donde naturalmente se desarrolla.

Pregunta de Investigación

¿Cómo influyen diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado en la calidad de las semillas y plántulas de granadillo (*Dalbergia retusa*) producidas en vivero, como alternativa para la restauración ecológica?

Preguntas específicas

¿Cuál es el efecto de los diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado en el porcentaje y velocidad de germinación de las semillas de *Dalbergia retusa*?

¿Cómo varía el crecimiento inicial de las plántulas de *Dalbergia retusa* (altura, diámetro del tallo y número de hojas) según el tipo de sustrato orgánico enriquecido con carbón activado utilizado?

¿Qué efecto tienen los distintos sustratos orgánicos con carbón activado en la biomasa aérea y radicular de las plántulas de *Dalbergia retusa*?

4. Justificación

La investigación se justifica por la necesidad de contribuir a la conservación y restauración de *Dalbergia retusa*, una especie forestal nativa de alto valor ecológico y económico que se encuentra en riesgo debido a la tala indiscriminada y al comercio ilegal de su madera. Su disminución en los bosques afecta la diversidad de especies, la estructura del ecosistema y la disponibilidad de recursos para la fauna. Estudiar esta especie es importante porque forma parte del patrimonio natural del país y su recuperación ayuda a mantener la estabilidad y resiliencia de los bosques tropicales.

La importancia de realizar este estudio radica en que ofrece una alternativa práctica para apoyar procesos de restauración ecológica mediante la producción de plántulas de alta calidad. Evaluar diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado permite identificar combinaciones que mejoren la germinación y el crecimiento inicial de *Dalbergia retusa*, lo cual es clave para aumentar la supervivencia de las plantas en campo y aprovechar mejor los recursos disponibles en vivero.

Desde el punto de vista social y económico, los resultados pueden ser útiles para viveristas, comunidades rurales y proyectos ambientales que buscan establecer plantaciones con especies nativas de valor comercial y ecológico. Contar con un protocolo sencillo para producir plántulas de granadillo de buena calidad contribuye a generar oportunidades de manejo sostenible, apoyo a medios de vida locales y recuperación de áreas degradadas, lo que fortalece la relación entre conservación y desarrollo.

En el plano teórico, la investigación aporta información sobre el comportamiento de las semillas y plántulas de *Dalbergia retusa* en distintos sustratos orgánicos con carbón activado, un tema poco estudiado para esta especie. Esto ayuda a llenar vacíos de conocimiento sobre su producción en vivero y brinda elementos para futuros estudios relacionados con la restauración de bosques secos y el uso de enmiendas orgánicas. En el plano metodológico, el trabajo propone un diseño experimental aplicable a otras especies nativas, con la evaluación de variables de calidad de plántulas que pueden ser replicadas en diferentes viveros forestales.

Finalmente, la investigación es viable porque se cuenta con las condiciones técnicas y logísticas necesarias en la Estación Experimental El Limón de la UNAN-Managua, CUR Estelí, donde se dispone de infraestructura de vivero, acceso a semillas, materiales para la elaboración de sustratos y acompañamiento académico. Esto garantiza que el estudio pueda desarrollarse en el tiempo previsto y que los resultados sean pertinentes para el contexto local y regional.

5. Objetivos de investigación

5.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad, capacidad de germinación y calidad de plántulas de la especie *Dalbergia retusa* establecidas en diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado.

5.2. Objetivos específicos

Analizar la viabilidad de las semillas de *Dalbergia retusa* mediante la aplicación de patrones radiográficos Rayos X.

Comparar el efecto de diferentes sustratos sobre velocidad y porcentaje de germinación de semillas de *D. retusa*.

Determinar el efecto de distintos sustratos sobre el crecimiento e índices de calidad de las plántulas de *D. retusa*.

6. Limitaciones del estudio

Las limitaciones de este estudio están relacionadas con el diseño experimental, las condiciones de vivero y la disponibilidad de recursos. En primer lugar, la investigación se realizó únicamente en la Estación Experimental El Limón de la UNAN-Managua, CUR Estelí, bajo condiciones controladas de vivero, por lo que los resultados obtenidos no pueden generalizarse de manera directa a otros sitios con diferentes condiciones climáticas, de suelo o de manejo. Además, las semillas de *Dalbergia retusa* utilizadas proceden de una fuente específica y de una sola temporada de colecta, lo que puede limitar la variabilidad genética y hacer que la respuesta observada no represente a toda la población de la especie en otras regiones.

En segundo lugar, se trabajó con un número determinado de sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado y con dosis previamente definidas, por lo que no se abarcan todas las posibles combinaciones o concentraciones que podrían influir en la calidad de las plántulas. De igual manera, la evaluación se centró en la etapa de vivero, valorando la viabilidad de las semillas, la germinación y la calidad inicial de las plántulas, sin dar seguimiento al comportamiento de las plantas en campo, lo que impide conocer de forma directa el impacto de los tratamientos en la supervivencia y crecimiento a largo plazo.

Finalmente, el uso de patrones radiográficos de Rayos X para evaluar la viabilidad de las semillas dependió de la disponibilidad de equipo y de las condiciones técnicas del laboratorio, lo que pudo restringir el tamaño de la muestra o el número de repeticiones. Estas limitaciones no invalidan los resultados, pero sí señalan que las conclusiones deben interpretarse dentro del contexto específico de la investigación y considerarse como una base para futuros estudios que incluyan más sitios, más tratamientos y evaluaciones a nivel de campo.

7. Hipótesis

El uso de sustratos orgánicos enriquecidos con biochar (carbón activado vegetal) mejora significativamente la calidad de las semillas y el desarrollo inicial de las plántulas de *Dalbergia retusa*, al incrementar la germinación, favorecer el crecimiento morfofisiológico y radicular, y aumentar los índices de calidad y supervivencia en condiciones de vivero.

8. Operacionalización de Variables

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Instrumento / Técnica	Fuente de datos
<p>Variable independiente</p> <p>— Evaluar viabilidad de semillas</p> <p>— Comparar germinación entre sustratos</p> <p>— Determinar efecto en crecimiento e índices de calidad</p>	<p>Tipo de sustrato orgánico enriquecido con biochar</p>	<p>Mezcla de materiales orgánicos (suelo, compost, fibra vegetal, estiércol) combinados con biochar, utilizada como medio físico para la germinación y el crecimiento de plántulas (LivingChar, 2023).</p>	<p>Tratamientos experimentales formados por sustratos orgánicos con diferente porcentaje y composición de biochar (T1, T2, T3...).</p>	<p>- Tipo de sustrato</p> <p>- Porcentaje de biochar (%)</p>	<p>Diseño experimental, ficha técnica de mezcla</p>	<p>Mezclas preparadas en vivero</p>
<p>1. Evaluar la viabilidad de las semillas de</p>	<p>Viabilidad de semillas</p>	<p>Capacidad fisiológica de una semilla de estar viva y germinar, basada en la</p>	<p>Clasificación de semillas como viables, no viables o</p>	<p>- % semillas viables</p> <p>- % no viables</p>	<p>Rayos X e interpretación</p>	<p>Semillas radiografiadas</p>

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Instrumento / Técnica	Fuente de datos
<i>Dalbergia retusa</i> mediante Rayos X		integridad del embrión y tejidos internos (Madera, 2022).	dañadas a partir de la interpretación de imágenes radiográficas.	viabiles - % dañadas	radiográfica; ficha de registro	
2. Comparar el efecto de diferentes sustratos sobre velocidad y porcentaje de germinación	Porcentaje de germinación	Proporción de semillas que inician la emergencia de la radícula bajo condiciones adecuadas (Weagro, 2024).	Relación (%) entre semillas germinadas y semillas sembradas en cada sustrato.	- Semillas germinadas - % germinación	Siembra, conteo periódico	Semillas sembradas en cada tratamiento
	Velocidad de germinación	Rapidez con la que ocurre la germinación en un periodo determinado (Soza, 2022).	Cálculo del Índice de Velocidad de Germinación (IVG) por tratamiento.	- IVG - Tiempo medio de germinación	Registro diario de germinación	Conteos diarios por tratamiento
3. Determinar el efecto de sustratos sobre crecimiento	Altura de plántula	Longitud del eje aéreo desde el cuello de la raíz hasta el ápice. Indicador	Medición en centímetros de cada	- Altura promedio (cm)	Regla milimetrada	Plántulas por tratamiento

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Instrumento / Técnica	Fuente de datos
e índices de calidad de plántulas		principal de crecimiento (Infoagronomo, 2024).	plántula al final del ensayo.			
	Diámetro del tallo	Grosor del tallo en el cuello de la raíz, asociado a robustez y supervivencia (Jimenez, 2019).	Medición en milímetros con vernier.	- Diámetro promedio (mm)	Calibrador (vernier)	Plántulas por tratamiento
	Número de hojas	Conteo de hojas verdaderas como indicador del vigor y capacidad fotosintética (Cruz, Aguirre, Espinoza, Avendaño, & Reyes, 2021).	Conteo manual del total de hojas por plántula.	- N° de hojas por plántula	Observación directa	Plántulas vivas en vivero
	Biomasa aérea	Masa seca del tallo y hojas como indicador del	Peso seco en gramos luego de secado en	- Biomasa aérea (g)	Tijeras, horno, balanza	Muestras de plántulas

Objetivos específicos	Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Indicadores	Instrumento / Técnica	Fuente de datos
		desarrollo aéreo (Oriálnitak, 2025).	horno a temperatura constante.			
	Biomasa radicular	Masa seca de las raíces, relacionada con absorción y anclaje (Oriálnitak, 2024).				

9. Marco Teórico

9.1. *Dalbergia retusa* (granadillo)

Dalbergia retusa, comúnmente llamada granadillo o cocobolo, es una especie de fanerógama de madera dura de Centroamérica, producida por dos de cuatro especies cercanas entre sí del género *Dalbergia* (Barstow, 2020).

9.1.1. *Taxonomía y distribución geográfica en Mesoamérica*

Dalbergia retusa fue descrita por William Botting Hemsley y publicado en *Diagnoses Plantarum Novarum*

Amerimnon lineatum

Amerimnon retusum

Dalbergia hypoleuca

Dalbergia lineata (Barstow, 2020).

La especie más conocida y quizás la que más se comercia es *Dalbergia retusa*, un árbol de tamaño medio, que suele alcanzar de 20-25 m de altura. Debido a su gran belleza y alto valor, esta especie ha sido ampliamente explotada y el árbol se encuentra ahora en peligro de extinción excepto en parques nacionales, reservas y plantaciones (Barstow, 2020).

Es muy posible que sea una especie que presenta un mosaico de variedades o ecotipos que ameritan de más estudios, aunque los ecosistemas naturales están actualmente muy deteriorados y las poblaciones muy afectadas y disjuntas. Común de 20- 800 msnm en bosque deciduo seco a húmedo, de galería o estacionalmente inundado; México, Belice a Panamá y Colombia (Khiem, 2018).

Es un árbol mediano, adulto hasta 20- 25 m de alto y diámetros (altura de pecho) de 40- 70 cm. El tronco es frecuentemente arqueado o sinuoso (S suave), muchas veces corto; a veces ramificado desde la parte inferior, especialmente cuando jóvenes. Las ramas gruesas, oblicuamente ascendente y sinuoso sostienen una copa umbelada muy abierta; para asegurarse espacio ante la competencia (Khiem, 2018).

Corteza con fisuras longitudinales de 15- 20 cm de largo y 0.5- 1.0 cm de profundidad, las costillas son de 2.0- 2.5 cm de ancho. Las hojas con 7 a 15, hasta 21 folíolos un poco alternos; folíolos jóvenes densa o esparcidamente estriguloso en nervaduras del envés, ovados a elíptico- oblongos o lanceolado- oblongos, 4- 5 cm x 2- 4 cm, de bordes revolutos, ápice obtuso a agudo o retuso, base redondeada, haz glabro, lustrosos o brillantes para reflejar la luz y disminuir la evapotranspiración; abscisan como último recurso, envés seríceo o sub-seríceos (pálido y opaco), raramente glabro. Par de estípulas oblicuamente ovadas a deltoides, hasta 2 cm en la base del pecíolo de hojas jóvenes son caducas. Inflorescencias paniculadas; flores de 12- 14 mm de largo; cáliz de menos de 4.5 mm de largo con hipantio poco notorio y apenas costillado. Vainas atenuadas hacia los extremos, lustrosos y sin nervadura fuera del área de las semillas, al secar se tornan coriáceos a leñosos y de amarillo- pajizos a café oscuro, los inmaduros negros (Khiem, 2018).

Nombres comunes que reciben son: En Centroamérica en general, Granadillo, en la región Caribe, Cocobolo ó Rosewood y en la región Pacífica de Nicaragua: Ñámbar o Ñámbaro (de lenguaje Chorotega). En el comercio internacional se le conoce como Cocobolo y Palissandre (Khiem, 2018).

9.1.2. Importancia ecológica y económica de la especie

La especie *Dalbergia retusa*, conocida como granadillo, tiene una importancia ecológica y económica significativa. Su adaptabilidad a diversas condiciones ecológicas y su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico la hacen un componente clave en la biodiversidad de su hábitat. Además, su madera es valorada por su resistencia y propiedades, lo que la convierte en una opción de madera de alta calidad para la industria y la construcción (Cocobolotree, 2024).

La conservación de *Dalbergia retusa* es crucial para mantener la salud del ecosistema y asegurar la sostenibilidad de la producción de madera. Se requieren estrategias de manejo sostenible que incluyan la implementación de programas de incentivos forestales y la promoción de la plantación de estas especies en áreas adecuadas (Cocobolotree, 2024).

9.1.3. Estado de conservación y amenazas (tala selectiva, comercio ilegal, pérdida de hábitat)

El género *Dalbergia* en la región centroamericana *D. retusa* (Cocobolo) se encuentra como una “Especie Amenazada”, con un alto riesgo de pasar a la categoría de “En peligro de extinción”, pues sus poblaciones habían disminuido drásticamente. Hay una presión fuerte sobre las poblaciones de las especies del género *Dalbergia* en el medio silvestre (*Dalbergia stevensonii* Standl, *Dalbergia retusa* Hemsl y *Dalbergia*, algunas partes de Centroamérica se ha llegado al extremo de solo encontrar individuos aislados de especies como *Dalbergia calderonii* Standl, *Dalbergia calycina* Benth, *Dalbergia melanocardium* Pittier, *Dalbergia tucurensis*; *Dalbergia salvanaturae*, *Dalbergia brownei* Jacq. Entre otras (CITES, 2022).

9.1.4. Situación de *Dalbergia retusa* en Nicaragua

En Nicaragua por más de diez años la *Dalbergia retusa* ha sido la especie de mayor demanda en el mercado internacional, su valor económico es el más alto de todas las especies comerciales en el país. Y la demanda por los comerciantes de madera y madereros se mantiene (CITES, 2022).

Las especies del género *Dalbergia* en los últimos años han venido reduciendo sus poblaciones debido a una fuerte tala selectiva, la mayoría de las especies se encuentran catalogadas en la lista roja de CITES como “En peligro crítico o bien con poblaciones decrecientes”. La CITES señala que las principales amenazas de la especie han sido la tala selectiva y el cambio de uso de la tierra. Debido a toda esta problemática en la región centroamericana se hace necesario implementar medidas o bien desarrollar programas que contribuyan al manejo, regeneración y conservación de estas especies y sobre todo unir esfuerzos que garanticen la sostenibilidad de estas especies en la región (CITES, 2022).

9.1.5. Necesidad de restauración ecológica y producción de plántulas de calidad

La *Dalbergia retusa* (granadillo o cocobolo) es una especie forestal de alto valor económico y ecológico, cuya madera densa, durable y estéticamente apreciada ha sido intensamente aprovechada en Mesoamérica para la fabricación de instrumentos musicales, muebles finos y artículos de alto valor agregado, sin embargo este uso intensivo, sumado a la tala selectiva,

el comercio ilegal de maderas preciosas y la conversión de bosques a usos agrícolas y ganaderos, ha provocado una reducción significativa de sus poblaciones naturales y una fragmentación de su hábitat. En varios países de su área de distribución se reporta que cada vez es más difícil encontrar individuos adultos reproductivos, y que la especie se considera escasa o localmente agotada en términos comerciales, lo que limita la producción de semillas y la regeneración natural de los bosques donde antes era frecuente (Rodríguez, 2010).

Según FAO AGRIS, (Rodríguez, 2010), ante este escenario, la restauración ecológica de áreas degradadas con especies nativas de alto valor, como *D. retusa*, se vuelve una estrategia prioritaria para la conservación de la diversidad biológica y la recuperación de funciones ecosistémicas. La restauración no solo persigue reintroducir la especie en paisajes donde ha disminuido, sino también mantener su diversidad genética, favorecer la conectividad entre fragmentos de bosque y contribuir a la provisión de servicios ecosistémicos como la protección de suelos, la regulación hídrica y la fijación de carbono. Sin embargo, la restauración basada en plantaciones o enriquecimiento de bosques secundarios depende de manera directa de la disponibilidad de material de propagación de calidad, en particular semillas viables y plántulas vigorosas producidas en vivero.

La producción de plántulas de calidad de *Dalbergia retusa* en vivero adquiere un papel central. No basta con disponer de cualquier planta; se requiere que las plántulas presenten buenas características morfológicas (altura, diámetro, sistema radicular bien desarrollado) y fisiológicas (estado sanitario, vigor), ya que estos atributos se relacionan estrechamente con la sobrevivencia y el crecimiento inicial en campo. Diversos estudios en especies forestales han demostrado que plantas producidas con sustratos adecuados, a partir de semillas viables y bajo buenas prácticas de vivero, muestran mayores tasas de sobrevivencia, mejor crecimiento temprano y una mayor capacidad de adaptación a condiciones de estrés hídrico y nutricional tras el trasplante (Rodríguez, 2010).

Además, la limitación de árboles semilleros de *D. retusa* en muchas zonas hace aún más relevante optimizar el uso de las semillas disponibles. Esto implica no solo recolectar y manejar adecuadamente los lotes de semillas, sino también contar con métodos eficientes para evaluar su viabilidad y seleccionar aquellas que tienen mayor probabilidad de germinar y originar plántulas sanas. Del mismo modo, resulta fundamental estudiar y ajustar los

sustratos utilizados en vivero, incorporando enmiendas orgánicas y materiales como el biochar, que pueden mejorar la estructura física del sustrato, la disponibilidad de agua y nutrientes, y con ello el desarrollo radicular y la calidad de las plántulas (CITES, 2022).

La necesidad de restauración ecológica de *Dalbergia retusa* está estrechamente ligada a la capacidad de producir plántulas de alta calidad en vivero. Investigar la viabilidad de las semillas, la germinación bajo diferentes sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado y su efecto sobre el crecimiento e índices de calidad de las plántulas no solo tiene relevancia científica, sino también una aplicación directa en programas de conservación y manejo sostenible de esta especie amenazada (Khiem, 2018).

9.2. Producción de plantas forestales en vivero

La producción de plantas forestales en vivero constituye una fase fundamental en los programas de restauración ecológica, reforestación y manejo sostenible de especies arbóreas. Los viveros permiten controlar de manera precisa las condiciones ambientales y edáficas durante las etapas más vulnerables del desarrollo vegetal, aumentando la probabilidad de obtener plántulas vigorosas y con alta capacidad de sobrevivencia al ser trasplantadas al campo. Según Rodríguez Laguna (2010), el vivero forestal es el espacio destinado a la germinación, crecimiento inicial y acondicionamiento de las plantas, en el cual se regulan factores críticos como el sustrato, la disponibilidad de agua, la luz, la nutrición y el manejo fitosanitario (Rodríguez, 2010).

9.2.1. Rol de los viveros forestales en la restauración ecológica

Los viveros forestales desempeñan un papel crucial en la restauración ecológica al proporcionar especies vegetales necesarias para reforestar y restaurar áreas deterioradas (Valdivia, 2024).

Producción de plantas: Los viveros cultivan plantas y árboles adaptados a diferentes condiciones ambientales, lo que es esencial para la reforestación.

Conservación de especies nativas: El cultivo de árboles autóctonos ayuda a restaurar ecosistemas locales, promoviendo la biodiversidad y la resiliencia ambiental.

Apoyo a proyectos de reforestación: Los viveros son fundamentales para proporcionar las plantas necesarias para recuperar áreas desforestadas, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

Producción sostenible: Los viveros aseguran que las plantas sean cultivadas con técnicas sostenibles, minimizando el uso de recursos y promoviendo la producción eficiente.

Generación de hábitats: Al proporcionar plantas, los viveros facilitan la creación de hábitats para la vida silvestre, promoviendo un equilibrio en los ecosistemas (Valdivia, 2024, pág. 8).

Estos aspectos resaltan la importancia de los viveros forestales en la restauración ecológica y su contribución a la sostenibilidad ambiental (Valdivia, 2024).

9.2.2. Prácticas de manejo para producir plantas de calidad

En especies nativas de alto valor económico y ecológico, como *Dalbergia retusa*, la producción de plantas de calidad reviste especial importancia debido a la limitada disponibilidad de árboles semilleros y a la reducción de las poblaciones naturales. Un vivero bien manejado permite no solo optimizar el uso de semillas viables, sino también garantizar condiciones adecuadas para el establecimiento y crecimiento de las plántulas durante las primeras semanas y meses, cuando la especie es particularmente sensible a la sequía, la exposición directa al sol y el estrés por trasplante (Valdivia, 2024). Además, el vivero constituye un espacio ideal para evaluar tratamientos experimentales relacionados con el sustrato, la fertilización y otras prácticas de manejo que influyen directamente en la calidad morfológica y fisiológica de la planta.

9.2.3. Relevancia del sustrato, humedad, luz y manejo sanitario

Entre los elementos más importantes de la producción de plantas forestales en vivero se encuentra el uso de sustratos adecuados. Los sustratos actúan como medio físico para el anclaje de las raíces, proporcionan nutrientes esenciales y regulan la disponibilidad de agua y aireación para la planta (Valdivia, 2024).

Asimismo, la calidad de la planta en vivero depende de la interacción de factores como la selección de semillas viables, la composición del sustrato, la fertilización, la densidad de siembra y el control de plagas y enfermedades. Los indicadores morfológicos —altura,

diámetro del tallo, número de hojas y biomasa aérea y radicular— permiten evaluar la robustez de las plántulas, mientras que índices integrales como el Índice de Dickson facilitan una evaluación más completa de la calidad, balance y vigor de la planta (Valdivia, 2024).

9.2.4. Sustratos orgánicos y su importancia en la fase de vivero

Los sustratos orgánicos son esenciales en la fase de vivero, ya que proporcionan un medio adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos sustratos, como la lombricomposta y la composta, ayudan a mejorar la calidad de la tierra y a fomentar un sistema radicular saludable. La lombricomposta es un sustrato orgánico con alto contenido de nutrientes, que libera lentamente los elementos nutritivos y acelera la producción de la planta. La composta es un abono que se obtiene por descomposición de productos orgánicos, aportando elementos esenciales para la planta. En México, la tierra de monte es el sustrato más común en los viveros forestales que utilizan el sistema tradicional (López, 2019).

La elección del sustrato orgánico adecuado es crucial para asegurar una alta germinación y un buen crecimiento, lo que resulta en plantas de calidad para su establecimiento en campo. Los sustratos deben tener una buena porosidad para retener agua y nutrientes, y una composición que garantice una correcta oxigenación y un adecuado pH.

9.3 Biología y calidad de semillas forestales

9.3.1 Estructura de las semillas y su papel en la germinación

Según Meyrat y Mazer (2023): Las semillas de especies forestales de la familia *Fabaceae*, como *Dalbergia retusa* (granadillo o cocobolo), presentan una estructura típica de leguminosas: una cubierta seminal relativamente dura, un embrión bien diferenciado y uno o dos cotiledones carnosos que almacenan reservas. En el caso de *Dalbergia*, las semillas se desarrollan dentro de vainas aplanadas, leñosas cuando maduran, que se tornan de color amarillo pajizo a café oscuro al secarse.

La cubierta seminal (testa) cumple una función protectora frente a daños mecánicos, patógenos y desecación excesiva, pero al mismo tiempo puede limitar la entrada de agua y oxígeno, influyendo en la velocidad de imbibición y, por ende, en la germinación. En muchas *Fabaceae*, esta testa puede inducir algún grado de latencia física, que suele romperse por abrasión natural, fluctuaciones térmicas o tratamientos pregerminativos (pág. 18).

El embrión de *D. retusa* es de tipo axial, con radícula, hipocótilo y plúmula claramente diferenciados, y cotiledones que actúan como órganos de reserva. Durante la germinación, la imbibición de agua desencadena una serie de procesos metabólicos que activan enzimas hidrolíticas, las cuales movilizan las reservas almacenadas en los cotiledones hacia el eje embrionario. Esto permite la emergencia de la radícula (fase crítica para la absorción de agua y anclaje) y posteriormente el desarrollo del hipocótilo y la plúmula (pág. 18).

En *Dalbergia retusa*, estudios de germinación bajo diferentes temperaturas muestran que, una vez hidratadas, las semillas pueden germinar en un rango relativamente amplio, con porcentajes máximos cercanos al 80–85 % alrededor de los 30 °C. A temperaturas más bajas la germinación se retrasa casi hasta la inhibición a 15 °C, mientras que a temperaturas altas (40–45 °C) algunas semillas aún son capaces de germinar, lo que refleja una buena adaptación fisiológica a ambientes cálidos (García, 2000).

Esta respuesta térmica está íntimamente ligada a la estructura de la semilla, en particular a la integridad del embrión y de los tejidos de reserva (García, 2000).

9.3.2 Concepto de calidad de semillas

La calidad de la semilla forestal es un concepto integral que abarca atributos físicos, fisiológicos, genéticos y sanitarios. No se refiere únicamente a que la semilla “germine”, sino a su capacidad de producir plántulas normales, vigorosas y adaptadas a las condiciones del sitio donde serán establecidas (Wilan, 2000).

Diversos manuales técnicos de semillas y plantas forestales distinguen cuatro componentes fundamentales de la calidad de la semilla (Perman, Navarro, Nicolás, Prada, & Serrada, 2012):

Calidad física

Pureza del lote (porcentaje de semillas de la especie objetivo respecto a impurezas, restos vegetales, semillas de otras especies) (Perman, Navarro, Nicolás, Prada, & Serrada, 2012).

Tamaño y peso de la semilla (número de semillas por kilogramo).

Calidad fisiológica

Viabilidad (capacidad de germinar y producir plántulas normales).

Vigor (capacidad de germinar rápida y uniformemente, y de establecerse bajo condiciones subóptimas) (Perman, Navarro, Nicolás, Prada, & Serrada, 2012).

Calidad genética

Representatividad de las fuentes semilleras (rodales, árboles plus).

Conservación de la variabilidad genética necesaria para la adaptación y la resiliencia de las futuras poblaciones (Perman, Navarro, Nicolás, Prada, & Serrada, 2012).

Calidad sanitaria

Ausencia o bajo nivel de infección por hongos, bacterias, insectos u otros agentes que afecten el embrión o los tejidos de reserva (Perman, Navarro, Nicolás, Prada, & Serrada, 2012).

Para especies nativas amenazadas como *D. retusa*, la calidad de la semilla reviste especial importancia, ya que las poblaciones naturales han sido fuertemente reducidas y, en muchos casos, los árboles semilleros son escasos y están fragmentados (Perman, Navarro, Nicolás, Prada, & Serrada, 2012).

Esto implica que cada lote de semilla recolectado representa un recurso valioso y limitado, cuyo aprovechamiento eficiente depende de una adecuada evaluación de su calidad (Perman, Navarro, Nicolás, Prada, & Serrada, 2012).

9.3.3. Viabilidad, vigor y dormancia

Dentro de la calidad fisiológica, los conceptos de viabilidad, vigor y dormancia son esenciales para comprender el comportamiento de las semillas forestales en laboratorio y vivero.

Viabilidad

La viabilidad se define como la capacidad de una semilla, sin latencia, para germinar y originar una plántula normal bajo condiciones ambientales favorables.

Es un atributo dicotómico (viable / no viable), aunque se expresa usualmente como porcentaje de semillas viables dentro de un lote.

Vigor

El vigor hace referencia al nivel de actividad y desempeño fisiológico de las semillas, y se relaciona con la velocidad y uniformidad de la germinación, así como con la capacidad de las plántulas para establecerse en condiciones estresantes (baja humedad, temperaturas no óptimas, suelos pobres).

Lotes con igual viabilidad pueden mostrar vigor muy distinto, lo que se traduce en diferencias marcadas en la emergencia y el crecimiento inicial en vivero.

Dormancia

La dormancia es el estado en el cual una semilla viable no germina aun cuando se encuentra bajo condiciones externas aparentemente favorables (agua, temperatura y oxígeno adecuados). Las causas pueden ser fisiológicas (inmadurez del embrión, bloqueo hormonal interno), físicas (testa impermeable), morfológicas (embrión no completamente formado) o combinadas.

En el caso de *Dalbergia retusa*, se ha señalado que las semillas del género *Dalbergia* se comportan como intermedias entre ortodoxas y recalcitrantes, con buena capacidad germinativa, pero sensibilidad moderada a condiciones inadecuadas de almacenamiento.

Estudios específicos sobre la germinación de *D. retusa* muestran que, bajo condiciones de laboratorio, la especie puede alcanzar porcentajes elevados de germinación si se controlan la temperatura y la humedad, lo cual indica que la latencia no es muy pronunciada, aunque la cubierta de la semilla puede retardar la imbibición y la emergencia.

En vivero, el vigor de las semillas de *D. retusa* se refleja en la rapidez con que emergen las plántulas y en el desarrollo inicial de la radícula y el hipocótilo. El uso de pruebas de

germinación, complementadas con métodos como el tetrazolio y la radiografía de rayos X, permite evaluar tanto la viabilidad como el vigor de los lotes de semilla que se emplearán en la producción de planta para restauración

9.3.4. Factores que afectan la viabilidad de semillas forestales (edad, almacenamiento, daños mecánicos, patógenos)

La viabilidad de las semillas forestales es un atributo dinámico que se va perdiendo con el tiempo y está influido por múltiples factores, entre los que destacan la edad de la semilla, las condiciones de almacenamiento, los daños mecánicos y la presencia de patógenos (Bautista, 2020).

Edad de la semilla y madurez en la cosecha

La viabilidad depende en gran medida de que las semillas hayan sido recolectadas en el punto de madurez fisiológica. Semillas inmaduras presentan baja viabilidad y vigor, mientras que semillas sobre maduras pueden haber iniciado procesos de deterioro. Una vez cosechadas, la viabilidad tiende a disminuir con el tiempo, a una velocidad que depende del tipo de semilla (ortodoxa, recalcitrante o intermedia) y de las condiciones de almacenamiento (Bautista, 2020).

En *Dalbergia retusa*, el reducido número de árboles semilleros en muchas poblaciones y la dificultad de acceso a los rodales pueden llevar a recolectas tardías o irregulares, lo que incrementa el riesgo de pérdida de viabilidad si las semillas no se manejan adecuadamente (Bautista, 2020).

Condiciones de almacenamiento (humedad y temperatura)

La combinación de contenido de humedad de la semilla y temperatura de almacenamiento es determinante para la longevidad. En general, humedades altas y temperaturas elevadas aceleran los procesos de respiración y deterioro, provocando daños en membranas, desnaturalización de proteínas y pérdida de viabilidad.

Manuales de semillas forestales recomiendan reducir la humedad de la semilla a niveles óptimos y almacenar en lugares frescos, secos y ventilados, o incluso en cámaras frías cuando se pretende conservar el material por períodos prolongados (Meyrat, 2023).

Daños mecánicos y manejo postcosecha

Golpes durante la cosecha, transporte o procesamiento pueden fracturar o fisurar la cubierta y el embrión, afectando directamente la viabilidad. Una manipulación inadecuada al extraer las semillas de las vainas o al limpiarlas puede generar daños internos no visibles externamente, que solo se detectan mediante pruebas de germinación, tetrazolio o radiografía (Meyrat, 2023).

Presencia de patógenos (hongos, insectos)

La infestación por insectos perforadores, hongos de almacenamiento o patógenos de campo puede reducir dramáticamente la calidad de un lote de semilla. Estos organismos deterioran los tejidos de reserva y el embrión, disminuyendo la viabilidad y el vigor (CITES, 2022).

En especies de alto valor como *Dalbergia*, donde la demanda comercial es elevada y las poblaciones naturales están sometidas a presión, el control de patógenos en el material de propagación es particularmente importante para no desperdiciar las pocas semillas disponibles (CITES, 2022).

9.4 Evaluación de viabilidad de semillas mediante Rayos X

9.4.1. Principios físicos del análisis radiográfico en semillas

La calidad de la semilla es un concepto formado por diferentes atributos, que son de interés para el semillero, el productor, las autoridades de certificación y el gobierno o agencia responsable del control. En esta instancia, la calidad de la semilla se definirá en función de las siguientes variables: pureza físico-botánica, contenido de humedad, peso de 1.000 semillas, viabilidad, germinación, vigor y estado sanitario (Alzugaray, 2016).

Una de las metodologías utilizadas para evaluar la calidad de las semillas es la prueba de Rayos X. Este es un método no destructivo para el análisis interno de las propiedades de las semillas: anatomía, defectos morfológicos, cambios fisiológicos que ocurren durante la maduración y ataque de insectos entre otros. A través de imágenes radiográficas se han identificado propiedades estrechamente relacionadas con la viabilidad y el vigor de las semillas. Cuando los rayos X pasan a través del objeto, se absorbe esta radiación primaria en

distinto grado por el objeto, dependiendo de su espesor, densidad, composición química y de la longitud de onda (λ) de la radiación (Alzugaray, 2016).

Los rayos X pasan a través del objeto creando la imagen radiográfica del espécimen sobre un film fotográfico, platina o cámara fluorescente. Las áreas que aparecen oscuras en la imagen obtenida son las más fácilmente penetradas por los rayos, o sea que representan las áreas del espécimen a través de las cuales ha pasado relativamente más radiación, oscureciendo el film. Las áreas claras representan las partes mucho más densas del objeto, dificultando el paso de la radiación (Alzugaray, 2016).

9.4.2. Normas internacionales para la evaluación radiográfica (ISTA)

La radiografía de semillas es un método reconocido internacionalmente para evaluar la calidad interna de los lotes de semillas, y su uso ha sido estandarizado por las Reglas Internacionales para Análisis de Semillas publicadas por la International Seed Testing Association (ISTA). Estas normas constituyen el marco técnico de referencia para laboratorios de análisis de semillas en todo el mundo, garantizando procedimientos uniformes, confiables y reproducibles (ISTA, 2021).

Dentro de las Reglas ISTA, la Prueba de Rayos X (X-ray Test) se establece como un método no destructivo para determinar la viabilidad potencial de una semilla mediante la observación directa de la integridad del embrión y de los tejidos de reserva. Las normas especifican parámetros como:

Intensidad y rango del voltaje adecuado para penetrar diferentes tipos de semillas.

Tiempo de exposición para obtener imágenes nítidas sin sobreexposición.

Distancia entre fuente de radiación y semilla, y características del equipo radiográfico.

Criterios de interpretación, que incluyen la identificación de embriones completos, cotiledones íntegros, cavidades internas, daños por insectos, tejidos deteriorados o malformaciones.

Clasificación final, que permite categorizar las semillas como viables, no viables o dañadas, así como la evaluación del grado y tipo de daño (ISTA, 2021, pág. 6).

Las reglas ISTA (2021) destacan que este ensayo es particularmente útil para especies forestales cuyas semillas presentan cubiertas duras, estructuras internas complejas o susceptibilidad a daños mecánicos que no son visibles externamente. Además, permite analizar lotes con disponibilidad limitada de semillas como ocurre con *Dalbergia retusa* sin comprometer el material disponible para la siembra o germinación.

En Latinoamérica, varios laboratorios acreditados por ISTA han adoptado esta metodología para semillas forestales tropicales, lo que facilita la generación de datos comparables entre países y contribuye a una mejor toma de decisiones en programas de restauración y conservación (ISTA, 2021).

9.5. Germinación de semillas forestales y sus determinantes

9.5.1. Concepto de germinación

La germinación es el proceso biológico mediante el cual una semilla viable reinicia su actividad metabólica y da origen a una plántula capaz de establecerse y continuar su ciclo de vida. Este proceso comienza con la imbibición —la absorción de agua por parte de la semilla— y culmina con la emergencia de la radícula, primer signo visible de germinación. En el ámbito forestal, la germinación adquiere una relevancia fundamental, ya que determina la eficiencia de los viveros, la calidad de las plántulas y el éxito potencial de los programas de restauración ecológica (FAO, 2021).

Según la FAO (2021), la germinación se interpreta como la expresión visible del potencial fisiológico de la semilla, condicionado por factores internos (embrión, reservas nutritivas, ausencia de daños) y externos (temperatura, humedad, oxígeno y luz). En especies nativas, especialmente aquellas sometidas a presión de tala, como *Dalbergia retusa*, comprender este proceso permite maximizar el uso de lotes de semilla escasos o de difícil recolección.

9.5.2. Etapas fisiológicas de la germinación

El proceso germinativo puede dividirse en tres etapas principales, de acuerdo con los estudios fisiológicos clásicos en semillas forestales:

Imbibición (fase I)

La semilla absorbe agua rápidamente debido al gradiente hídrico.

Se activan enzimas hidrolíticas que degradan sustancias de reserva (SEMARNAT, 2022).

Activación metabólica (fase II)

Se incrementa la respiración y la síntesis de proteínas.

El embrión reanuda el crecimiento celular (SEMARNAT, 2022).

Emergencia de la radícula (fase III)

La radícula rompe la cubierta seminal.

Este evento marca oficialmente el inicio de la germinación (SEMARNAT, 2022).

Según el “Manual para el análisis físico y biológico de semillas forestales” (SEMARNAT, 2022), estas etapas ocurren de forma secuencial y dependen estrechamente de las condiciones ambientales y de la integridad del embrión.

9.5.3 Factores que influyen en la germinación

La germinación está regulada por varios factores ambientales que afectan la velocidad y porcentaje final logrado:

1. Agua

La humedad es imprescindible para activar las enzimas y permitir que el embrión reanude su crecimiento. Un exceso puede generar anoxia (falta de oxígeno) y un déficit puede detener el proceso (García, 2000).

2. Oxígeno

El embrión requiere oxígeno para la respiración aeróbica. Sustratos compactados o encharcados reducen la disponibilidad de oxígeno y pueden inhibir la germinación (García, 2000).

3. Temperatura

Cada especie posee un rango óptimo de germinación. En *Dalbergia retusa*, García (2000) demostró que la germinación máxima ocurre alrededor de 30 °C, mientras que temperaturas muy bajas o excesivamente altas reducen la velocidad y el porcentaje final (García, 2000).

4. Luz

En algunas especies forestales tropicales, la luz actúa como señal de regulación hormonal. En el caso de *Dalbergia*, no es estrictamente fotoblástica, pero una iluminación moderada favorece el desarrollo temprano de la plántula (García, 2000).

5. Calidad del sustrato

La aireación, textura, retención de agua y contenido de materia orgánica del sustrato influyen directamente en la germinación. Sustratos muy densos afectan la oxigenación; sustratos muy sueltos pueden no retener suficiente humedad.

Según Meyrat (2023), la mezcla ideal debe permitir un balance entre retención hídrica y aireación, condición especialmente importante en semillas forestales de testa dura como *Dalbergia retusa*.

9.5.4 Influencia de los sustratos orgánicos en la germinación de semillas forestales

Según CITES (2022), el sustrato es uno de los factores más determinantes en el éxito germinativo. Su estructura física (textura, porosidad, densidad aparente) influye directamente en:

La disponibilidad de humedad

El suministro de oxígeno

La temperatura radical

La penetración de la radícula

Los sustratos orgánicos (compost, humus, cascarilla de arroz, fibra de coco) mejoran la retención de nutrientes y la humedad, mientras que el biochar aporta porosidad, aireación y capacidad de intercambio catiónico.

Investigaciones en viveros forestales documentan que la mezcla de sustratos orgánicos con biochar:

Aumenta la germinación en especies tropicales.

Disminuye la incidencia de hongos patógenos.

Mejora la aireación y reduce la compactación del medio (CITES, 2022).

9.6. Sustratos orgánicos y función del biochar en viveros forestales

Los sustratos utilizados en viveros forestales constituyen uno de los elementos más determinantes para la producción eficiente de plántulas de calidad. A diferencia del suelo agrícola, el sustrato es un medio especialmente diseñado para favorecer la germinación, el crecimiento radicular inicial y el desarrollo equilibrado de la planta. En especies forestales tropicales como *Dalbergia retusa*, cuya germinación y crecimiento temprano dependen fuertemente de condiciones físicas y químicas estables, la elección adecuada del sustrato es clave para la obtención de plantas vigorosas destinadas a proyectos de restauración ecológica (Payá, 2020).

9.6.1. Concepto y características de los sustratos orgánicos

Los sustratos orgánicos son materiales provenientes de la descomposición de residuos vegetales o animales, empleándose como medio de crecimiento alternativo al suelo mineral. Entre los más comunes en viveros forestales se encuentran el compost, el humus de lombriz, la fibra de coco, la cascarilla de arroz, la turba y mezclas derivadas de residuos agrícolas.

De acuerdo Payá (2020), un sustrato de calidad debe cumplir al menos las siguientes características:

Alta porosidad para favorecer la aireación radicular.

Buena capacidad de retención de agua sin llegar al encharcamiento.

Densidad aparente baja, que permita el fácil desarrollo de la radícula.

Estabilidad estructural, evitando compactación.

Disponibilidad de nutrientes de forma gradual.

En especies forestales de crecimiento inicial lento o con radículas sensibles, como *Dalbergia retusa*, el uso de mezclas orgánicas mejora la germinación al mantener un microambiente más regulado y menos susceptible a cambios bruscos de humedad o temperatura (Payá, 2020).

9.6.2. Relevancia de los sustratos en viveros forestales

El sustrato es determinante para:

La germinación: regula la disponibilidad de agua y oxígeno.

El crecimiento radicular: raíces primarias requieren espacios porosos y aireados.

La salud de la plántula: reduce patógenos del suelo.

El vigor: afecta biomasa, diámetro del tallo e índices de calidad (González, Rodríguez, & Peteira, 2021).

9.6.3. El biochar como mejorador de sustratos en viveros forestales

El biochar (biocarbón) es un material carbonoso producido por pirólisis de biomasa en condiciones de baja disponibilidad de oxígeno. En viveros forestales, su uso se ha extendido debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas que lo convierten en una enmienda altamente beneficiosa (González, López, & Gutiérrez, 2020).

Principales propiedades del biochar

Alta porosidad y superficie específica

Mejora la aireación, favorece la penetración de la radícula y promueve el crecimiento radicular fino.

Elevada capacidad de retención de agua

Funciona como una esponja, útil en climas cálidos o en sustratos ligeros con poca retención hídrica.

Incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Retiene nutrientes como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , liberándolos progresivamente, lo cual beneficia a plántulas.

Aumento de la actividad microbiana benéfica

Sus microporos sirven de refugio para microorganismos promotores del crecimiento.

Regulación del pH

Su tendencia a la alcalinidad puede corregir sustratos ácidos, ampliando la disponibilidad de nutrientes.

CICYTEX (2014) y UPV (2019) señalan que el biochar puede mezclarse en proporciones entre 5 % y 20 % del volumen total del sustrato, dependiendo de la especie y del tipo de biocarbón producido (González, Rodríguez, & Peteira, 2021).

9.6.4. Efectos del biochar en la germinación y crecimiento de plántulas forestales

La inclusión de biochar en sustratos ayuda en:

Aumenta el porcentaje de germinación, debido a la mayor aireación y retención de humedad.

Reduce la incidencia de hongos patógenos, gracias a su acción adsorbente.

Promueve un sistema radicular más robusto, fundamental para la supervivencia tras el trasplante.

Incrementa la biomasa seca total, influyendo positivamente en el Índice de Dickson (DQI).

Mejora la fertilidad del sustrato, especialmente en mezclas con compost o tierra negra (González, Rodríguez, & Peteira, 2021, pág. 14).

En especies cercanas a *Dalbergia*, como otras Fabaceae tropicales, los estudios indican que los sustratos ligeros enriquecidos con biochar favorecen la germinación rápida y un

crecimiento inicial más equilibrado entre parte aérea y radicular (González, López, & Gutiérrez, 2020).

9.6.5. Relevancia del biochar para *Dalbergia retusa* en vivero

Aunque no existen muchos estudios específicos sobre *D. retusa*, la evidencia generada en especies nativas tropicales y especies del mismo género sugiere que el biochar puede:

Mejorar la germinación en sustratos arenosos o pobres.

Favorecer el crecimiento temprano en ambientes de vivero con temperaturas altas.

Ayudar a conservar humedad y disminuir estrés hídrico en las primeras semanas.

Elevar los valores de índices morfológicos como diámetro del tallo y longitud radicular (Gopinandhan & Channabasamma, 2025).

Estos beneficios son especialmente relevantes para una especie amenazada como *D. retusa*, donde cada semilla es valiosa y el objetivo es maximizar la calidad de las plántulas destinadas a restauración ecológica.

10. Diseño metodológico

10.1. Tipo de investigación

El estudio se desarrolla bajo el enfoque cuantitativo y el paradigma positivista, dado que busca medir variables de forma objetiva, controlar condiciones experimentales y establecer relaciones causales entre el uso de sustratos con biochar y la calidad de semillas y plántulas de *Dalbergia retusa*.

Por el método de investigación, el presente estudio es de tipo experimental, según el nivel de profundidad del conocimiento el tipo de estudio es explicativo porque busca identificar las causas de un fenómeno (variaciones en el crecimiento, distribución de biomasa, etc.), explicar por qué ocurre y en qué condiciones se da (Hernández-Sampier, 2018) De acuerdo con el tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo y según el período y secuencia del estudio es transversal. En cuanto al enfoque filosófico, por el uso de los instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se fundamenta en la integración sistémica de los métodos y técnicas cuantitativas de investigación (López Garcia, 2022)

De acuerdo con la Clasificación Internacional Normalizada de la Educación (CINE 2013), la presente investigación Campo amplio: 08 Agricultura, silvicultura, pesca y veterinaria; Campo específico: 081 Agricultura y Campo detallado: 0811 Producción agrícola y ganadera. En conformidad con las líneas de investigación de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), esta investigación se ubica en el área de conocimiento de Ciencias agropecuarias, en la LÍNEA CAG-1: sistemas de producción agropecuaria y la sub línea CAC-1.1: sistemas de producción agrícola. La ubicación geográfica del área experimental se llevó a cabo en la Centro Universitario Regional-Estelí, Recinto Leonel Rugama Rugama, adscrita a la UNAN - Managua / CUR - Estelí, Nicaragua, sus coordenadas se pueden aproximar a los (13°05'13"N 86°21'22"O), a 884 m s.n.m. La temperatura media anual es de 22,3 °C (16-33 °C) y la precipitación media anual es de 804 mm. Según el alcance temporal, es transversal, ya que la recolección de datos se realiza dentro de un periodo definido correspondiente al ciclo de evaluación de las plántulas.

10.2. Población y Selección de la Muestra

La población estuvo conformada por semillas y plántulas de *Dalbergia retusa* Hemsl. en etapa de vivero, cultivadas bajo condiciones controladas de manejo agronómico, incluyendo riego, luminosidad solar. Las plántulas dispuestas en bolsas de polietileno de 3x5 cm bajo diferentes combinaciones de sustratos.

Muestra

La muestra de este estudio fue una muestra censal, es decir, que se recopilaron los datos de una parte la población de evaluada tomando una muestra representativa. Esto ocurre porque la población es pequeña y manejable, en este caso, la población y muestra está compuesta por 120 plántulas distribuidas en cuatro tratamientos.

10.3. Técnicas, instrumentos y procedimiento para recolección de datos

En esta investigación se propuso un diseño experimental en el cual usando los bloques completamente al azar, en el cual se agruparon unidades heterogéneas en bloques homogéneos, asignándose tratamientos aleatorios dentro de los bloques. Lo que permitió controlar la fuente de variación y propone un análisis más preciso con ANOVA, que nos permite comparar el efecto de los diferentes sustratos distribuidos en cada uno de los bloques completos y donde cada sustrato se prueba en todos los bloques.

El diseño para evaluar el efecto de los sustratos estuvo conformado por cuatro bloques y cada bloque por cuatro tratamientos representados por cada uno de los sustratos que pueden promover la germinación y descubrir que sustratos promueve un mejor crecimiento de las plántulas post germinación. Cada tratamiento por cuatro unidades de 30 individuos, para un total de 120 semillas y plantas por sustrato y 480 plantas en todo el experimento. Realizando mediciones de germinación, sobrevivencia y mediciones de crecimiento en la plántula dispuesta en sustratos diferentes.

Realizamos la preparación del sustrato donde estarán establecidas las plántulas, el sustrato está establecido con tierra como testigo, biochart al 75% con un 25 Realizando mediciones

de germinación, sobrevivencia y mediciones de crecimiento en la plántula dispuesta en sustratos diferentes de turba, biochar al 50% con un 50% de turba y biochar al 25% con un 75% de turba, y disponiendo semillas de *D. retusa*. provenientes de un solo árbol del CUR-ESTELÍ.

Los sustratos utilizados son de origen comercial como la turba y de elaboración propia como el biochar y se utilizó para el testigo suelo propio del área de establecimiento del experimento.

El procesamiento de la información obtenida en este experimento se organizó en fase de campo en hojas diseñadas para recolecta de datos y seguido se descargaron en bases de datos en programa Excel. Continuado saneamiento y organización de los datos a evaluar, tomando en cuenta las variables establecidas y sus comparaciones.

Concluyendo con un análisis de varianzas (ANOVA) con el propósito de verificar el efecto que tienen los diferentes sustratos sobre la sobre el crecimiento y distribución de biomasa e índices de calidad de plántulas de *Dalvergia retusa*.

Procedimiento general

1. Preparación de los sustratos

Mezcla de los componentes según cada tratamiento.

2. Trasplante

Ubicación de plántulas de *D. retusa* en bolsas individuales.

3. Manejo en vivero

- Riego manual estandarizado según capacidad de campo
- Control de sombra y temperatura

4. Evaluaciones cada 15 días

- Altura
- Diámetro del tallo
- Observaciones fisiológicas

5. Cosecha final (90 días)

- Separación de raíces y parte aérea
- Secado a 70 °C hasta peso constante
- Obtención de biomasa seca

6. Análisis de sustrato

- pH
- Conductividad eléctrica
- Nutrientes básicos

Evaluación radiográfica de semillas

- **Exposición a 15–30 kV y 1–5 segundos**
- Clasificación: viable / no viable / dañada
- Validación mediante prueba de germinación

Fórmula de viabilidad:

$$\text{Viabilidad (\%)} = \left(\frac{\text{Semillas viables}}{\text{Total de semillas evaluadas}} \right) \times 100$$

10.4. Confiabilidad y validez de los instrumentos

Confiabilidad:

Se garantiza mediante calibración previa de instrumentos (balanza, vernier, regla) y aplicación de protocolos estandarizados de medición.

Validez:

Los instrumentos miden directamente las variables definidas en la matriz de operacionalización (altura, diámetro, biomasa, pH, viabilidad), garantizando validez de contenido y pertinencia científica.

10.5. Consideraciones éticas y de conservación

- La recolección de semillas se realizará sin afectar árboles reproductores ni poblaciones naturales.
- Se evitará extraer más material del necesario.
- Las actividades en vivero seguirán principios de conservación y manejo sostenible.

- Se protegerá toda la información generada y se garantizará que el experimento no genere impactos ambientales negativos.

11. Análisis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos demuestran que es importante promover el análisis de calidad del banco de semillas, conocer cuál es potencial de germinación, proponer los tratamientos más adecuados para determinar cuál de ellos influye más en crecimiento y calidad final de las plántulas a establecer, los tratamientos propuestos y evaluados son; carbón activado (Biochar) en diferentes porcentajes y sustrato inerte (turba), los que influyeron significativamente en el estudio de robustez y calidad de las plantas y su desarrollo de la plántula Cocobolo (*D. retusa*), en la fase de vivero.

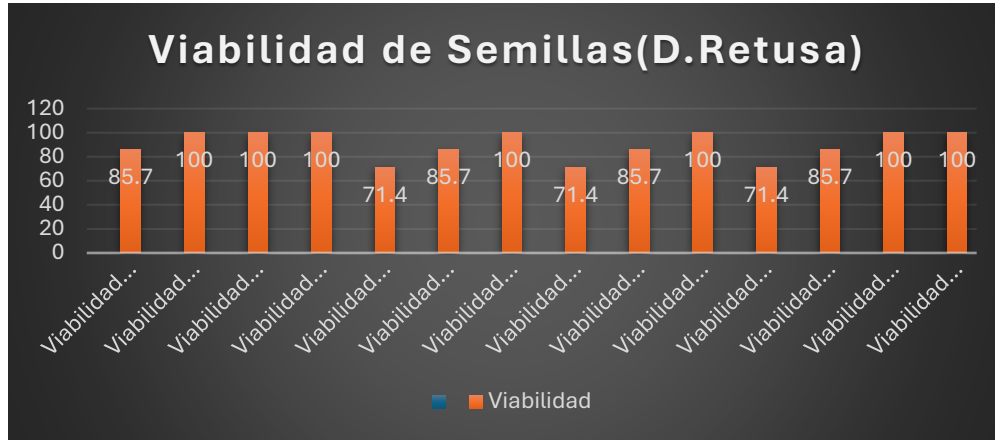
Patrones radiográficos de Rayos X para determinar la Viabilidad de semillas de *Dalbergia retusa*

Al evaluar las semillas de *D. retusa*. tras el proceso de radiográficos rayos x nos dio un porcentaje alto de viabilidad por lote.

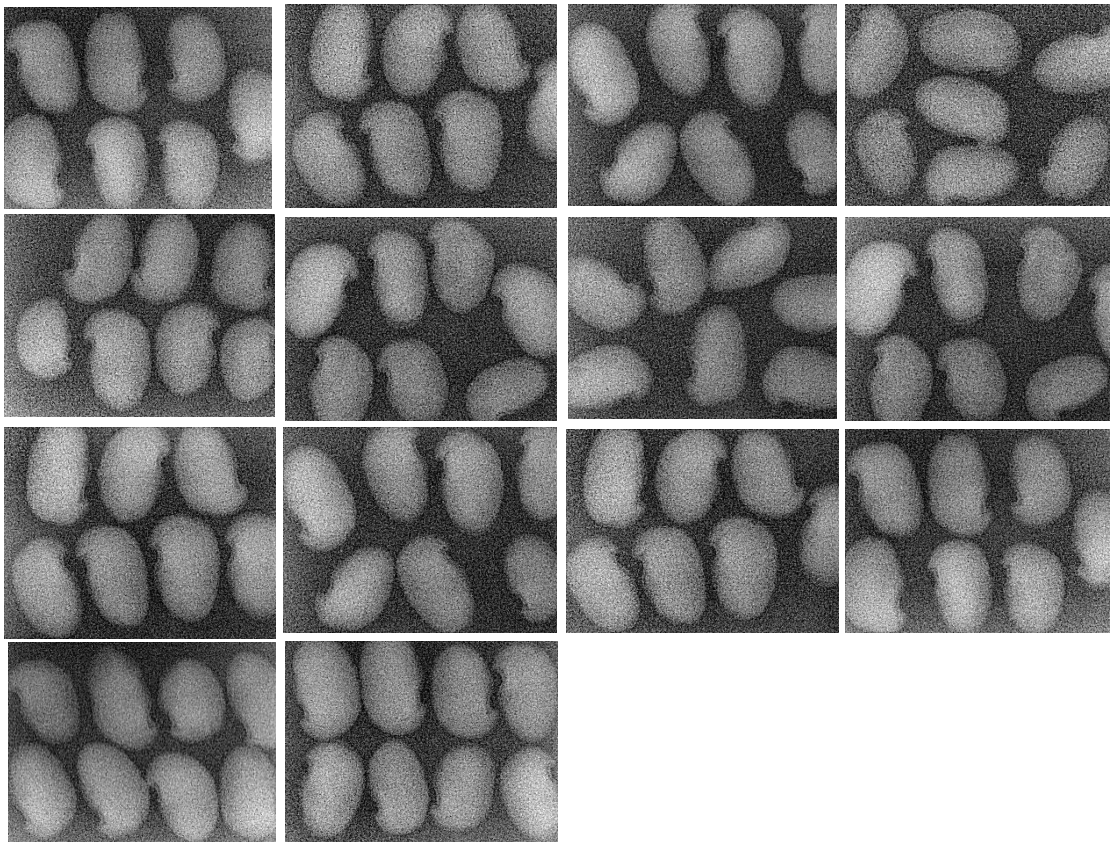
Se trabajo un total de 100 semillas, dividido en 14 lotes de 7 y 8 semillas cada imagen radiográfica, dividido en 12 lotes de 7 semillas cada uno y 2 lotes de 8, para un total de 100 semillas (*D. retusa*). La siguiente tabla muestra el porcentaje de viabilidad por cada lote.

Figura 1.

Determinación de la viabilidad de semillas de D. retusa. mediante patrones radiográficos



La tabla de viabilidad de las semillas (*D. retusa*) tras los rayos x muestra que los lotes



2,3,4,7,10,13 y 14, alcanzaron un 100%, mientras que los lotes 1,6,9,12 alcanzaron un 85.7% de viabilidad, y los lotes 5,7,11 con un 71.4%, siendo estos tres últimos los más bajos (Figura 1). Esto indica que la calidad fisiológica intrínseca de las semillas utilizadas es muy buena. Los defectos de las semillas a la hora de describir los patrones radiográficos son provocados principalmente por mal manejo o daños mecánicos a la hora de la manipulación en la postcosecha.

Según (Galan-Larrea & Vargas-Hernandez, 2000), tras una prueba de viabilidad en una especie forestal (*Gmelina arborea*) mostraron un alto potencial de germinación en dichas semillas, alcanzando un 90% de viabilidad tras la prueba de tetrazolio al 0.1% y rayos X. Esto demuestra que los resultados de la práctica de rayos X en semillas de *D. retusa*, son similares a los de otra especie forestal, dando como resultado un porcentaje de 89.7% de viabilidad en los 14 lotes de semillas, mostrando la importancia de esta técnica para determinar daños internos dentro de la semilla, y estándares de calidad que esta tiene, además de no provocar ningún daño destructivo interno tras la práctica.

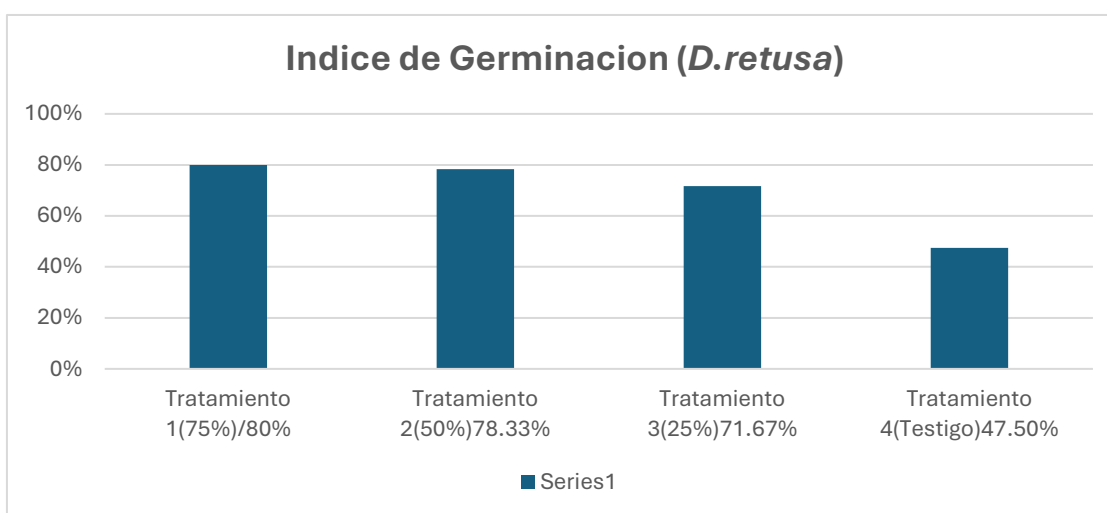
Efectos de los sustratos sobre la germinación de las semillas de *D. retusa* Helms

Estudios han demostrado que la adición de CA mejora significativamente las propiedades físicas del suelo, aumentando la aireación y la retención de agua. Además, la alta capacidad de adsorción del carbón le permite fijar o neutralizar compuestos potencialmente inhibidores de la germinación (como metales pesados o contaminantes orgánicos presentes en el sustrato base), creando un entorno más limpio y propicio para la emergencia de la plántula. Por lo tanto, se esperaba que los tratamientos enriquecidos con CA superaran al tratamiento testigo.

El porcentaje de germinación promedio de las semillas de *D. retusa* mostró una marcada diferencia entre los tratamientos con y sin carbón activado, mostrando los siguientes porcentajes:

Figura 2.

Efecto de los sustratos orgánicos enriquecidos con carbón activado en el porcentaje y velocidad de germinación de semillas de Dalbergia retusa



Los resultados confirman el postulado de los antecedentes de investigación. Los porcentajes de germinación en los tratamientos con carbón activado al 75%, 50% y 25% fueron sustancialmente más altos que en el Tratamiento Testigo. Eficacia del Carbón Activado: El tratamiento T4 (Testigo), con solo el 47.5% de germinación, fue claramente limitado, lo que indica la presencia de factores desfavorables en el suelo. La adición de CA revirtió esta situación, ya que T1 (80.00%), T2 (78.33%) y T3 (71.67%) lograron incrementos superiores al 24% con respecto al testigo. Esta mejora se atribuye a la capacidad del CA para adsorber metabolitos secundarios o contaminantes que actúan como inhibidores de la

germinación, y a la optimización de la relación aire-agua en el sustrato, creando un microambiente ideal para el inicio del proceso germinativo. Efecto de la Concentración: Las concentraciones más altas (T1 y T2) demostraron una eficacia superior. Con un 80% de germinación, el T1 fue el más exitoso. El T2 fue marginalmente inferior, sugiriendo que la concentración media-alta es casi tan efectiva como la más alta, lo que podría implicar un punto de rendimiento óptimo en términos de costo-beneficio.

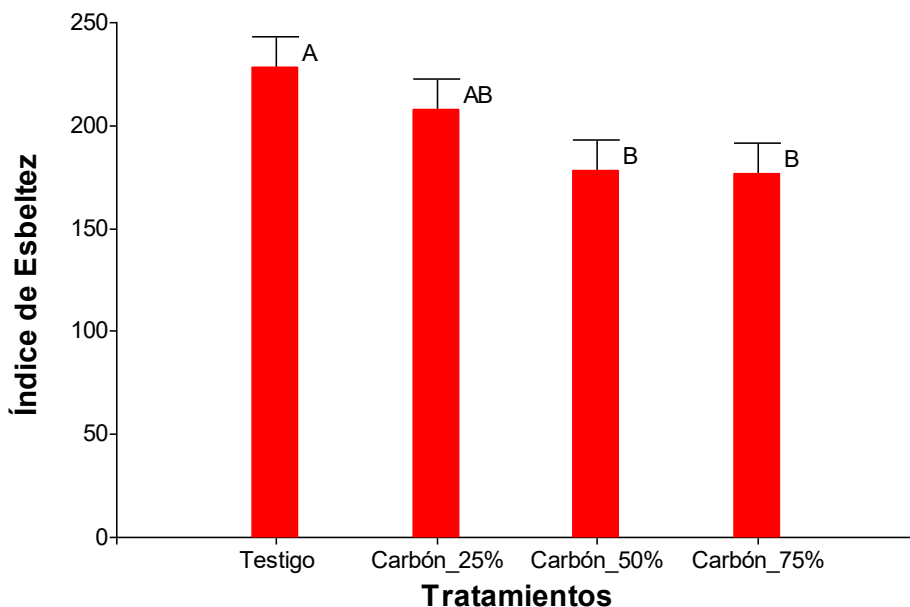
Varianza en T3: Es notable la baja germinación promedio del T3 (71.67%) en comparación con T1 y T2, y la alta variabilidad observada en sus repeticiones (desde 100% hasta 36.67%). Esta falta de consistencia sugiere que la dosis más baja de carbón activado (ej. 25%) es menos robusta para homogeneizar las condiciones del sustrato en todas las unidades experimentales, dejando algunas susceptibles a los factores limitantes del sustrato base. De acuerdo con el análisis de germinación, el tratamiento que mejor porcentaje obtuvo fue el Tratamiento 1 (75%) con un 80% de germinación, confirmando la importancia que el Biochar aportó a la plántula y a su desarrollo, y el porcentaje más bajo lo obtuvo el testigo, con un 47.50% (sin aplicación de Carbón activado). Lo cual es afirmado en otros estudios que indican que la adición de biochar permite aumentar los porcentajes de germinación hasta en un 98% en semillas de maíz y aumentar la velocidad de germinación provocando una reducción hasta en 3 días la emergencia de las semillas (Liaqat Ali., 2021)

Efecto de los sustratos en el crecimiento y calidad de las plántulas de *D. retusa* Helms

La evaluación del análisis estadístico aplicado al índice Esbeltez denota diferencias significativas entre los tratamientos aplicados ($F=704.54$; $P=0.0001$; Figura 4). Las plántulas tratadas como testigo (227 ± 14.99) y Carbón al 25% (207.75 ± 14.99), presentan los mayores valores del índice de esbeltez, los tratamientos carbón al 50% (177 ± 14.89) y carbón al 75% (176 ± 14.89), registraron valores inferiores.

Figura 3.

Evaluación del Índice de Esbeltez (IE) de plántulas de Dalbergia retusa en los diferentes tratamientos con carbón activado.



Los resultados de la prueba estadística indican una clara separación en los índices de esbeltez de las plántulas:

La menor esbeltez lo presentan los tratamientos con carbón_50% (177.92) y carbón_75% (176.66) lo cual indica que el uso de estos sustratos no provoca cambios sustanciales en las plántulas en cuanto a su crecimiento aéreo, no así en los tratamientos con carbón al 25% y testigos que presentan los mayores índices de esbeltez con un valor de 227.92 mostrando una mayor relación diámetro a la base de la raíz respecto a la altura de la plántula.

Para la mantener los índices de esbeltez con buena relación altura/diámetro el tratamiento de carbón 25% 207.71, que muestra un comportamiento intermedio, que podría ser un parámetro bueno para hacer uso. Es por esto, por lo que muchos investigadores proponen propone valores menores en este caso las que sean menores

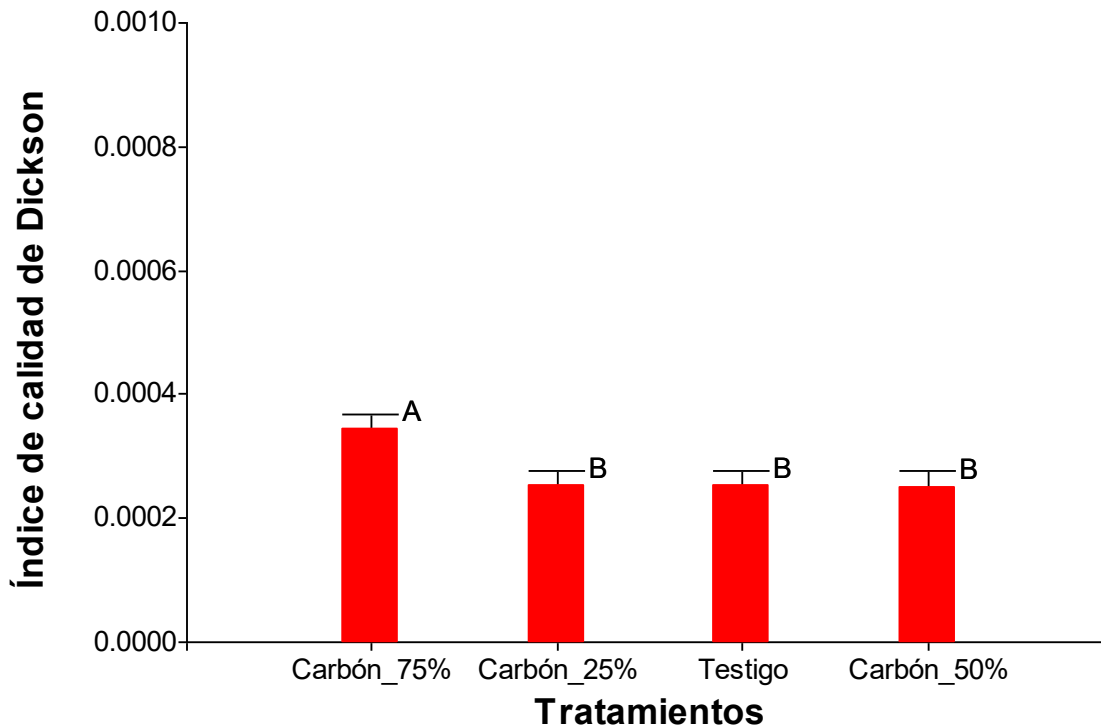
a 176.66, ya que valores superiores disponen a la planta a daños por viento, sequías y/o cambios bruscos en el clima, esto es debido a la desproporción que hay entre la altura y el diámetro, lo que indica que las plantas con diámetros muy delgados no tendrán la capacidad de sostener un tallo elongados lo cual lo hace más propenso a doblarse (López_Tinoco., 2014).

11.5 Índice de calidad de Dickson-Entre las variables evaluadas para conocer la calidad de las plántulas, el índice de calidad de Dickson presenta diferencias significativas en cuanto a los demás tratamientos ($F= 440.56$; $P<0.0001$; Figura 5). Las plántulas dispuestas en carbón al 75% alcanzan los mayores promedios en cuanto al índice de calidad (0.00034 ± 0.00003), superando a los demás tratamientos aplicados en el experimento, con valores inferiores a 0.00025.

El sustrato enriquecido con carbón al 75% presenta los más alto valores en cuanto al índice de calidad en cuanto a los demás tratamientos, presentando plantas que tendrán un mejor desempeño a la hora de ser establecidas a nivel de campo, dado esto por la relación del peso seco total, el crecimiento de las plantas y los pesos secos de sus tallos y raíces. Este no permite visualizar al sustrato con carbón al 75% como el sustrato que nos permitirá potenciar la sobrevivencia y la mejor adaptación de plántulas después de estar en el vivero.

Figura 4.

Determinación del Índice de Calidad de Dickson (ICD) de plántulas de Dalbergia retusa establecidas en diferentes sustratos orgánicos.



12. Conclusiones

El análisis seminal mediante Rayos X fue una herramienta eficaz y no destructiva para confirmar la alta calidad y viabilidad interna del lote de semillas de *Dalbergia retusa*, estableciendo una base biológica sólida para la experimentación de vivero.

El sustrato enriquecido con 75% de Carbón Activado (CA) fue el tratamiento óptimo para la etapa inicial, al lograr el mayor porcentaje y la mayor velocidad de germinación, lo cual valida la capacidad del CA para adsorber compuestos inhibidores y crear un ambiente favorable para la emergencia de la plántula.

El tratamiento con 75% de Carbón Activado (CA) produjo la plántula de mejor calidad integral, al obtener el máximo Índice de Calidad de Dickson (ICD) y un Índice de Esbeltez bajo, asegurando un equilibrio morfológico (mayor diámetro y robustez) que maximiza el potencial de supervivencia en campo.

14.13. **Recomendaciones**

El presente estudio ha generado información técnica y biológica de alto valor para la propagación de granadillo (*Dalbergia retusa*) en vivero. Este conocimiento es fundamental para subsanar el vacío de información que, como se justificó en la tesis, es una de las barreras para revertir su alarmante declive poblacional, causado por la explotación intensiva y el comercio ilegal (Rodríguez, 2010; SEMARNAT, 2022). Las siguientes recomendaciones están dirigidas a los distintos actores que pueden aplicar estos hallazgos para maximizar el éxito en la restauración de esta especie en peligro.

1. Recomendaciones para la comunidad científica y académica

Para ampliar la aplicabilidad y validar completamente los hallazgos de este estudio, se recomienda:

Validación en Campo (*in situ*): Es imperativo establecer ensayos de campo utilizando las plántulas producidas con el sustrato óptimo (Turba-Arena-Carbón Activado al 10%). Si bien el Índice de Calidad de Dickson predice una plántula robusta, se requiere monitorear su supervivencia y crecimiento a largo plazo en condiciones naturales para confirmar la eficacia del protocolo de vivero (Perman et al., 2012).

Optimización del Biochar: Se sugiere realizar estudios que evalúen un rango más amplio de concentraciones de carbón activado (por ejemplo, 5%, 15% y 20%) para determinar el nivel más eficiente y económico, lo cual es clave para la escalabilidad del método (Valdivia, 2024).

Eficiencia de Germinación: A pesar de la alta viabilidad seminal, se debe investigar el efecto de tratamientos pregerminativos alternativos combinados con el sustrato óptimo. Esto ayudaría a estandarizar la producción, mejorar la uniformidad y reducir aún más el tiempo necesario en vivero (Soza, 2022).

2. Recomendaciones para Viveristas y Técnicos Forestales

Estos actores son los responsables de la implementación directa de los resultados y su enfoque debe ser la aplicación inmediata del protocolo:

Adopción del Protocolo Óptimo: Se debe adoptar de inmediato el sustrato compuesto por Turba, Arena y Carbón Activado (Biochar) al 10% para la siembra de *Dalbergia retusa*. Este protocolo ha demostrado generar plántulas con la mayor calidad morfológica, lo que garantiza un material de siembra robusto que resistirá mejor el estrés del trasplante, maximizando la eficiencia de los esfuerzos de reforestación.

Monitoreo del Índice de Calidad: Se aconseja utilizar el Índice de Calidad de Dickson de forma rutinaria para clasificar las plántulas antes de su distribución y siembra. Esto asegura que solo las plántulas más vigorosas lleguen al campo, evitando el desperdicio de recursos y esfuerzos.

3. Recomendaciones para Instituciones de Conservación (como SEMARNAT)

Para garantizar que el conocimiento generado tenga un impacto a nivel nacional y regional, se recomienda:

Estandarización del Protocolo: Las instituciones gubernamentales deben integrar oficialmente el protocolo de sustratos con carbón activado en sus Manuales Oficiales de Producción de Semillas y Plántulas Forestales para *D. retusa*. Este paso asegura que los programas de reforestación patrocinados o coordinados a nivel nacional utilicen la mejor práctica disponible, aumentando la probabilidad de éxito y el cumplimiento de metas de conservación (SEMARNAT, 2022).

Capacitación y Transferencia Tecnológica: Se debe invertir en programas de capacitación para transferir esta tecnología de manera efectiva a los técnicos y viveristas de las regiones prioritarias, facilitando la comprensión de los beneficios del biochar en el manejo de especies forestales valiosas.

4. Recomendaciones para Comunidades y Productores Locales

Para fomentar la apropiación local de las técnicas de restauración, se sugiere:

Uso de Biochar de Bajo Costo: Promover la producción y el uso local del carbón activado derivado de residuos agrícolas o forestales como enmienda para sus sustratos. Esto permite que los productores con recursos limitados accedan a la tecnología que mejora la calidad de la plántula sin depender de insumos costosos, fomentando la **economía circular** y la gestión sostenible de los recursos (Rodríguez, 2010).

Incentivos para la Producción: Establecer programas de incentivos que valoren las plántulas de *D. retusa* producidas bajo el protocolo de alta calidad. Esto motivará a las comunidades a priorizar la calidad sobre la cantidad, apoyando directamente la **conservación *ex situ*** de esta especie preciosa.

15.14. Referencias Bibliográficas

(s.f.).

Agriperfiles. (2025). *Estación Experimental "El Limón"* . Agriperfiles. doi:<https://agriperfiles.agri-d.net/display/n13042>

al, L. A. (2021). Impact of Biochar Application on Germination Behavior and. *applied sciences*, 13.

Ali, L. (2021). Impact of Biochar Application on Germination Behavior and. *Applied sciences*, 13.

Alzugaray, P. (2016). *Aplicación de la técnica de rayos x en la evaluación de calidad de semillas forestales nativas.* Fcagr.unr. doi:<https://fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/18/12AM18.htm>

Barstow, M. (2020). *Dalbergia retusa.* Iucnredlist. doi:<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T32957A67799410.en>

Bautista, A. (2020). *Manual para análisis físico y biológico de semillas forestales.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). doi:<https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2022/08/Manual-semillas-.pdf>

CITES. (2022). *Estrategia para la conservación y manejo sostenible del género Dalbergia en Guatemala, El Salvador y Nicaragua 2021-2031.* CITES Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres. doi:https://cites-tsp.org/sites/default/files/project_files/2023-06/1.%20Estrategia_Dalbergia_GT_SA_NI.pdf

Cocobolotree. (2024). *Distribución Geográfica y Adaptación Ecológica de las Dalbergias de Centroamérica.* Cocobolotree. doi:<https://cocobolotree.com/dalbergia-retusa-cocobolo-en-centroamerica-distribucion-geografica-y-adaptacion-ecologica/>

- Cruz, J. (2017). *Respuesta de cacao (Theobroma cacao L.) y Teca (Tectona grandis L.F.) a la micorrización durante la etapa de vivero, Kukra Hill, RACCN, Nicaragua*. Universidad Nacional Agraria. doi:<https://repositorio.una.edu.ni/3656/>
- Cruz, S., Aguirre, J., Espinoza, S., Avendaño, C., & Reyes, J. (2021). Características morfométricas y germinación de semillas Dalbergia granadillo Pittier. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*, 9(1), 44-51. doi:<https://www.somecta.org.mx/Revistas/2021-1/2021-1/I.%20germinacion%20de%20semillas%20de%20Dalbergia%20granadillo%20REV.pdf>
- FAO. (2021). *Guía para la manipulación de semillas forestales*. FAO. doi:<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e8894707-0d80-41a6-975a-84c396d21bd6/content>
- Galan-Larrea, & Vargas-Hernandez, J. y.-L. (2000). Tratamientos para estimular y homogenizar la germinación en semillas de Gmelina arborea Roxb. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del ambiente*, 6, 21-28. Obtenido de <http://revistas.chapingo.mx/forestales/index.php?section=articles&numero=21&articulo=317>
- García, E. (2000). Temperatura y germinación de las semillas de Dalbergia retusa. *Revista Biología Tropical*, 48(1), 43-45. doi:http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100005&lng=en&tlng=es.
- González, I., Rodríguez, M., & Peteira, B. (2021). *Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas*. Revista de Protección Vegetal. doi:https://www.researchgate.net/publication/356879049_Biochar_y_su_contribucion_a_la_nutricion_crecimiento_y_defensa_de_las_plantas
- González, J., López, R., & Gutiérrez, T. (2020). *Efectos del Biochar sobre el crecimiento y sobrevivencia de seis especies forestales con potencial uso para la restauración de suelos degradados*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. doi:<http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/13060/2/cc.jpg>

- Gopinandhan, T., & Channabasamma, B. (2025). "Evaluating Biochar as a Potting Mixture Substitute: Impacts on Coffee Seedling Growth and Soil Properties" en la Central Coffee Research Station, Karnataka, India. *Journal of Experimental Agriculture International* , 47(2), 114-122. doi:10.9734/jeai/2025/v47i23272
- Hernández-Sampier, R. &. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Revista Universitaria Digital de Ciencia Sociales*, 4.
- Infoagronomo. (2024). *¿Qué es una plántula?* Infoagronomo. doi:<https://infoagronomo.net/que-es-una-plantula/>
- ISTA. (2021). *Reglas Internacionales para Análisis de Semillas: Capítulo de Prueba Radiográfica (Rayos X)*. International Seed Testing Association. doi:https://www.seedtest.org/es/reglas-ista-para-el-analisis-de-semillas-_content---1--1083.html
- Jimenez, D. (2019). *Generación de suelos artificiales a través del uso de esteriles de carbón*. 1library. doi:https://1library.co/article/di%C3%A1metro-tallo-plantas-materiales-metodos.y60093gy#google_vignette
- Khiem, A. (2018). *Biología y Silvicultura de las especies de Dalbergia en América Central*. USFS. doi:<https://ipknowledgeportal.internationalprograms.us/wp-content/uploads/2024/03/Libro-Biologia-y-Silvicultura-de-las-Especies-en-America-Central-USFS-IP-Alain-Meyrat-1-Katy-Mazer.pdf>
- Liaqat Ali., e. a. (2021). Impact of Biochar Application on Germination Behavior and. *Applied Sciences*, 13.
- LivingChar. (2023). *Ficha técnica del producto: Sustrato enriquecido con biochar*. LivingChar. doi:<https://www.livingchar.com/wp-content/uploads/2023/02/Biochar-enriquecido-LivingChar-PDS.pdf>
- López Garcia, R. (2022). Organización comunitaria para el cuidado de la salud pública: experiencia de la. *Repositorio unan.edu.ni* , 196.

- López, R. (2019). *Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales*. Revista mexicana de ciencias forestales. doi:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i49.156>
- López_Tinoco., e. a. (2014). *Evaluación de la influencia de la fertilización en el vivero sobre la calidad de la planta de Pinus oocarpa Schiede y*. Managua: UNA .
- Madera, N. (2022). *¿Qué es la viabilidad de las semillas?* Todosloshecho. doi:<https://todosloshechos.es/que-es-la-viabilidad-de-las-semillas>
- Meteosolana. (2025). *El Clima en Estelí, Estelí, Nicaragua*. Meteosolana. doi:https://ni.meteosolana.net/esteli/clima-en-esteli#google_vignette
- Meyrat, A. (2023). *Biología y silvicultura de las especies de Dalbergia en América Central*. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Programa Internacional (USFS-IP). doi:<https://ipknowledgeportal.internationalprograms.us/wp-content/uploads/2024/03/Libro-Biologia-y-Silvicultura-de-las-Especies-en-America-Central-USFS-IP-Alain-Meyrat-1-Katy-Mazer.pdf>
- Orialnitak. (2024). *Biomasa radicular: ¡Energía limpia de las raíces!* Oriallnitak. doi:<https://orialnitak.es/biomasa-radicular-definicion/>
- Orialnitak. (2025). *Biomasa aérea del árbol: energía verde y sostenible*. Oriallnitak. doi:https://orialnitak.es/biomasa-aerea-arbol/#google_vignette
- Payá, M. (2020). *Potencial del biochar como componente de sustrato para enraizamiento y crecimiento de plántulas arbustivas de interés forestal*. RIUNET. doi:<https://riunet.upv.es/entities/publication/f81c5bea-3041-4aa5-8937-02676458c90d>
- Pedraza, E., Catarino, J., & Martínez, E. (2023). El palo de rosa: la tala ilegal y su comercio. *Revista Digital Universitaria*, 23(4), 17-22. doi:<https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.4.6>
- Perman, J., Navarro, R., Nicolás, J., Prada, M., & Serrada, R. (2012). *Producción y manejo de semillas forestales*. MITECO Organismo Autónomo Parques Nacionales, España. doi:<https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales->

oapn/publicaciones/Semillas%20-%20Normativa%20y%20recomendaciones%20de
%20uso_tcm30-100335.pdf

Rodríguez, R. (2010). *Manual de práctica de viveros forestales*. FAO AGRIS.
doi:<https://agris.fao.org/search/es/records/6705285eb1dfe472e145b593>

SEMARNAT. (2022). *Manual para el análisis físico y biológico de semillas forestales*.
SEMARNAT. doi:[https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2022/08/Manual-
semillas-.pdf](https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2022/08/Manual-semillas-.pdf)

Soza, A. (2022). *¿Qué es la velocidad de germinación?* Todosloshechos.
doi:<https://todosloshechos.es/que-es-la-velocidad-de-germinacion>

Valdivia, O. (2024). *Tecnologías para mejorar la producción y productividad agropecuaria: Establecimiento de viveros forestales*. Universidad Nacional Agraria.
doi:<https://repositorio.una.edu.ni/4778/1/renk10v146.pdf>

Weagro. (2024). *¿Qué es la germinación de semillas: definición, cómo comprobarla?*
Weagro. doi:[https://weagro.ua/es/blog/que-es-la-germinacion-de-semillas-
definicion-como-comprobarla/](https://weagro.ua/es/blog/que-es-la-germinacion-de-semillas-definicion-como-comprobarla/)

Wilan, R. (2000). *Guía para la manipulación de semillas forestales*. FAO.
doi:[https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e8894707-0d80-41a6-
975a-84c396d21bd6/content/ad232s00.htm](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e8894707-0d80-41a6-975a-84c396d21bd6/content/ad232s00.htm)

3 Anexos



Anexo B





¡Universidad del Pueblo y para el Pueblo!



