

**Evaluación de tratamientos pregerminativos de cedro negro (*Juglans neotropica*) en Santa
María, Huila**

Zeyly Yihandry Andrade Chala

Luz Norely Torres Minotta

Directora

Alexandra Cerón Endo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Ingeniería Agroforestal

2025

Resumen

El cedro negro (*Juglans neotropica*), especie arbórea de alto valor ecológico y económico en Colombia, enfrenta una creciente amenaza debido a la tala indiscriminada, la fragmentación de su hábitat y una baja tasa de germinación de sus semillas, lo que compromete su regeneración natural. Con el fin de desarrollar estrategias efectivas para la propagación de esta especie, se llevó a cabo un estudio en el municipio de Santa María, Huila. Se implementó un diseño experimental factorial completamente al azar, donde se evaluaron cinco tratamientos pregerminativos en semillas de cedro negro utilizando tres tipos de sustratos. Cada tratamiento se replicó 3 veces, con 10 semillas por repetición, sumando un total de 450 semillas. Los resultados mostraron que el T4 (escarificación mecánica y aplicación de hormonas de enraizamiento) y T5 (escarificación mecánica e inmersión en agua) fueron efectivos para inducir la germinación. El tratamiento T4 en el sustrato S2 (mantillo y cascarilla de arroz) alcanzó el mayor porcentaje de germinación (91.67%), siendo estadísticamente superior ($p < 0.05$) al sustrato S1 (arena de río) que obtuvo un 55%. El T4 también redujo significativamente el Tiempo Medio de Germinación (TMG) a 36.7-38.6 días, frente a los 54.4-57.6 días del T5, y registró el mayor Índice de Velocidad de Germinación (IVG = 0.264). Se concluye que la combinación de escarificación mecánica con hormonas de enraizamiento (T4) y el uso de sustrato orgánico (S2) constituye el protocolo más efectivo para la propagación de *J. neotropica*, optimizando el porcentaje, la velocidad y la uniformidad de la germinación.

Palabras clave: Conservación, Sustratos, Germinación, Especie, Propagación.

Abstract

The black cedar (*Juglans neotropica*), a tree species of high ecological and economic value in Colombia, faces increasing threats due to indiscriminate logging, habitat fragmentation, and a low germination rate of its seeds, which compromises its natural regeneration. In order to develop effective strategies for the propagation of this species, a study was conducted in the municipality of Santa María, Huila. A completely randomized factorial experimental design was implemented, evaluating five pre-germination treatments on black cedar seeds using three types of substrates. Each treatment was replicated three times, with 10 seeds per replicate, for a total of 450 seeds. The results showed that T4 (mechanical scarification y application of rooting hormones) and T5 (mechanical scarification e immersion in water) were effective in inducing germination. Treatment T4 in substrate S2 (mulch y rice husks) achieved the highest germination percentage (91.67%), which was statistically superior ($p < 0.05$) to substrate S1 (river sand), which obtained 55%. T4 also significantly reduced the Mean Germination Time (MGT) to 36.7-38.6 days, compared to 54.4-57.6 days for T5, and recorded the highest Germination Speed Index (GSI = 0.264). It is concluded that the combination of mechanical scarification with rooting hormones (T4) and the use of organic substrate (S2) constitutes the most effective protocol for the propagation of *J. neotropica*, optimizing the percentage, speed, and uniformity of germination.

Keywords: Conservation, Substrates, Germination, Species, Propagation.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema	13
Justificación	14
Objetivos	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos	16
Marco Conceptual y Teórico	17
Descripción Botánica de (<i>Juglans Neotropica</i>)	17
Condiciones Ambientales para su Desarrollo.....	17
Problemáticas de Conservación.....	17
Importancia Ecológica y Económica de la Especie	18
Caracterización de la Semilla de Cedro Negro (<i>Juglans neotropica</i>)	18
Tiempo de Germinación	19
Propagación por Semillas y Factores que Afectan la Germinación	20
Tratamientos Pregerminativos	20
Sustratos.....	21
Metodología	23
Área de Estudio.....	23
Geografía del Sitio de Investigación: Coordenadas.....	23
Características Climáticas.....	23
Tratamientos Pregerminativos	24
Sustratos.....	25

Materiales, Equipos y Software Utilizados	26
Diseño Experimental	26
Variables para Medir	27
Tiempo Medio de Germinación (TMG):	27
Procedimiento Experimental	28
Análisis de Datos	29
Análisis Estadístico.....	29
Resultados y Discusión.....	31
Porcentaje de Germinación.....	31
Análisis de Varianza (ANOVA de Dos Vías)	32
Supuesto de Normalidad.....	33
Supuesto de Varianza Constante	34
Pruebas de Comparación de Medias.....	35
Tiempo Medio de Germinación (TMG).....	36
Análisis de Varianza (ANOVA de Dos Vías)	37
Supuesto de Normalidad.....	38
Análisis No Paramétrico para TMG	39
Índice de Velocidad de Germinación (IVG).....	40
Análisis de Varianza (ANOVA de Dos Vías)	41
Supuesto de Normalidad.....	43
Supuesto de Varianza Constante	43
Pruebas de Comparación de Medias.....	44
Recomendaciones	47

Conclusiones.....	49
Referencias Bibliográficas.....	52
Apéndices	57

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Diseño Experimental Factorial Completamente al Azar</i>	27
Figura 2 <i>Diagrama de Cajas y Bigotes del Porcentaje por Tratamiento y Sustrato</i>	36
Figura 3 <i>Tiempo Medio de Germinación (TMG) por Tratamiento Pregerminativo</i>	40

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Tratamientos Pregerminativos Utilizados</i>	24
Tabla 2 <i>Sustratos Utilizados</i>	25
Tabla 3 <i>Materiales, Equipos y Software Utilizados en la Investigación.</i>	26
Tabla 4 <i>Porcentaje de Germinación</i>	31
Tabla 5 <i>Porcentaje Germinación ANOVA de dos Vías</i>	33
Tabla 6 <i>Prueba de Levene para el Factor Sustrato</i>	34
Tabla 7 <i>Prueba de Levene para el Factor Tratamientos</i>	34
Tabla 8 <i>Prueba de Comparación de Medias de Tukey Aplicada al Factor Sustrato</i>	35
Tabla 9 <i>Tiempo Medio de Germinación (TMG en días) por Tratamiento y Sustrato</i>	37
Tabla 10 <i>ANOVA para Evaluar Efecto del Tratamiento y Sustrato</i>	38
Tabla 11 <i>Prueba de Kruskal-Wallis para el Factor Tratamiento</i>	39
Tabla 12 <i>Índice de Velocidad de Germinación (IVG)</i>	41
Tabla 13 <i>ANOVA de dos Vías para IVG</i>	42
Tabla 14 <i>Verificación de Supuesto de Homogeneidad de Varianzas (Test de Levene) para cada Factor del Modelo ANOVA</i>	43
Tabla 15 <i>Prueba de Comparación de Medias de Tukey para el Factor Sustratos</i>	44
Tabla 16 <i>Prueba de Comparación de Medias de Tukey para el Factor Tratamientos</i>	45

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Recolección de Semillas de Cedro Negro</i>	57
Apéndice B <i>Morfología y Calidad de las Semillas de Juglans Neotropica</i>	58
Apéndice C <i>Preparación de Sustratos</i>	58
Apéndice D <i>Aplicación del Tratamiento de Escarificación Mecánica</i>	59
Apéndice E <i>Aplicación del Tratamiento de Inmersión en Agua</i>	59
Apéndice F <i>Aplicación de Hormona de Enraizamiento (Aloe Vera)</i>	60
Apéndice G <i>Diseño Experimental</i>	61
Apéndice H <i>Germinación Exitosa de Juglans Neotropica</i>	61
Apéndice I <i>Emergencia y Establecimiento de la Plántula</i>	62
Apéndice J <i>Plántula Cedro Negro Desarrollada en el Experimento</i>	62
Apéndice K <i>Tiempo Medio de Germinación con Todas las Repeticiones</i>	63
Apéndice L <i>Índice de Velocidad de Germinación con Todas las Repeticiones</i>	64
Apéndice M <i>Índice de Velocidad de Germinación (IVG) en Función de los Sustratos</i>	65
Apéndice N <i>Índice de Velocidad de Germinación (IVG) en Función de los Tratamientos</i>	66

Introducción

El cedro negro (*Juglans neotropica*) es una especie arbórea de gran relevancia ecológica, económica y cultural en los ecosistemas andinos de Colombia y otros países de la región. Esta especie se caracteriza por su madera de alta calidad, apreciada por su durabilidad, resistencia y acabado estético, lo que la convierte en un recurso valioso para la industria maderera nacional e internacional (Ramírez-López et al., 2025). Además, sus frutos han sido utilizados tradicionalmente como alimento y en la medicina popular, evidenciando su importancia para las comunidades locales que dependen de los recursos del bosque para su subsistencia (Vivanco et al., 2021).

Ecológicamente, *Juglans neotropica* desempeña un papel fundamental en la dinámica de los bosques montanos, ya que contribuye a la regulación hídrica, la captura de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad, al proporcionar hábitat y alimento para diversas especies de fauna y flora asociadas (Israel, 2024). Sin embargo, las poblaciones naturales de esta especie se encuentran en estado crítico debido a la deforestación, la tala indiscriminada y la expansión agrícola, factores que han reducido drásticamente su área de distribución y han llevado a su clasificación como especie “En Peligro” por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2023).

A esta situación se suma la dificultad que presenta su regeneración natural, ya que sus semillas poseen una latencia física que limita la germinación en condiciones silvestres. Este fenómeno se debe principalmente a la dureza del endocarpio, que restringe la absorción de agua y oxígeno, procesos esenciales para iniciar la germinación (Maldonado, 2023). Como resultado, las tasas de germinación rara vez superan el 50 %, lo que compromete la capacidad de

regeneración natural y limita la producción de plántulas para proyectos de restauración (Maldonado, 2023; Ramírez-López et al., 2025).

Frente a este escenario, la aplicación de tratamientos pregerminativos se presenta como una alternativa efectiva para romper la dormancia y mejorar el rendimiento germinativo. Investigaciones recientes reportan que técnicas como la escarificación mecánica, la inmersión en agua y la combinación con reguladores de crecimiento pueden incrementar la germinación hasta en un 70 %, reduciendo significativamente los tiempos de emergencia (Sadat-Hosseini et al., 2022).

Por otro lado, *Juglans neotropica* contiene compuestos bioactivos de interés industrial y científico, como el juglón, una molécula con propiedades alelopáticas, antimicrobianas y pesticidas naturales, que actualmente se investiga como sustituto sostenible de agroquímicos sintéticos (Islam & Widhalm, 2020). Esta característica amplía las oportunidades de aprovechamiento de la especie en áreas como la agricultura ecológica, la farmacología y la industria cosmética.

En este contexto de urgente necesidad de conservación y restauración, surge la pregunta central de esta investigación: ¿Cuál es el tratamiento pregerminativo más efectivo para aumentar la tasa de germinación de semillas de cedro negro (*Juglans neotropica*) en condiciones controladas en Santa María, Huila? Para responder a esta interrogante, se implementó un diseño experimental factorial completamente al azar, evaluando cinco tratamientos pregerminativos distintos en semillas de cedro negro y utilizando tres tipos de sustratos, con tres réplicas por tratamiento y diez semillas por repetición, sumando un total de 450 semillas. La aplicación de estos tratamientos pregerminativos no solo proporciona herramientas fundamentales para la propagación eficiente de la especie, sino que también sentará las bases para programas de

reforestación y restauración ecológica más exitosos, contribuyendo directamente a la recuperación de los ecosistemas boscosos andinos degradados y a la preservación de la biodiversidad.

Planteamiento del Problema

El cedro negro (*Juglans neotropica*) es una especie arbórea de gran importancia ecológica y económica en Colombia, particularmente en los bosques húmedos andinos. Su madera, reconocida por su durabilidad y calidad, es ampliamente utilizada en la fabricación de muebles, pisos e instrumentos musicales, mientras que sus frutos son una fuente de alimento y medicina tradicional para las comunidades. A pesar de su valor, la especie enfrenta una grave amenaza debido a la tala indiscriminada, la fragmentación de su hábitat y, especialmente, la baja tasa de germinación de sus semillas, que oscila entre el 10% y el 50% en condiciones naturales (Ramírez Lopez et al., 2023).

La baja tasa de germinación de las semillas de cedro negro es un problema crítico que limita la regeneración natural de la especie y dificulta su aprovechamiento sostenible. Estudios recientes han demostrado que las semillas de *Juglans neotropica* presentan una latencia física debido a la dureza de su endocarpio, lo que impide la absorción de agua y oxígeno, factores esenciales para la germinación (Maldonado, 2023). Esta situación ha llevado a que la especie sea clasificada como "En Peligro" (EN) en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN (UICN, 2023).

En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el tratamiento pregerminativo más efectivo para aumentar la tasa de germinación de semillas de cedro negro en condiciones controladas en Santa María, Huila?. La respuesta a esta pregunta no solo contribuye a la conservación de la especie, sino que también proporciona herramientas para su manejo sostenible y su uso en programas de reforestación (Díaz-Páez et al., 2021).

Justificación

El cedro negro (*Juglans neotropica*) es una especie forestal nativa de los Andes tropicales que desempeña un papel fundamental en la estructura y funcionalidad de los bosques montanos. Su madera, de alta calidad y gran durabilidad, se utiliza en la elaboración de muebles finos, pisos e instrumentos musicales, lo que la convierte en un recurso de alto valor económico para las comunidades locales y los mercados (Ramírez-López et al., 2025)

Sin embargo, la presión derivada de la tala indiscriminada, la fragmentación del hábitat y la ampliación de la frontera agrícola han ocasionado una reducción significativa en sus poblaciones naturales, razón por la cual la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza la clasifica como especie “En Peligro” (UICN, 2023).

A esta problemática se suma una limitación biológica determinante: la baja tasa de germinación natural de sus semillas, que en condiciones silvestres no supera el 50 %, debido a la dureza del endocarpio, el cual actúa como una barrera física que impide la absorción de agua y oxígeno, factores esenciales para iniciar la germinación (Maldonado, 2023). Esta condición reduce la capacidad de regeneración natural y compromete la viabilidad de proyectos de restauración ecológica. Estudios recientes han demostrado que la aplicación de tratamientos pregerminativos como la escarificación mecánica, la inmersión en agua caliente o el uso combinado de técnicas físicas puede incrementar significativamente la germinación y acortar el tiempo de emergencia, alcanzando valores superiores al 70 % en condiciones controladas (Sadat-Hosseini et al., 2022).

Por otro lado, investigaciones realizadas en Ecuador han identificado que la procedencia de la semilla y el tipo de sistema productivo influyen en la calidad y viabilidad germinativa. En este sentido, semillas recolectadas en sistemas agroforestales han mostrado tasas de germinación

cercanas al 69 %, en contraste con el 15 % reportado en regeneración natural (Ramírez-López et al., 2025; Fierro Ricaurte, 2023). Estos hallazgos evidencian la necesidad de establecer protocolos pregerminativos eficaces que garanticen la producción de plántulas para proyectos de reforestación y conservación genética.

Adicionalmente, *J. neotropica* no solo posee importancia forestal, sino también potencial en el ámbito biotecnológico, gracias a la presencia de compuestos bioactivos como el juglón, reconocido por sus propiedades alelopáticas y su capacidad para actuar como pesticida natural, lo que abre perspectivas para su aprovechamiento en estrategias agrícolas sostenibles (Islam & Widhalm, 2020; Ybañez-Julca et al., 2025). Esta característica resalta la relevancia de su conservación y propagación, no solo por su valor ecológico y económico, sino también por sus posibles aplicaciones en la investigación científica y la innovación tecnológica (Mihai et al., 2023).

En este contexto, la presente investigación se justifica como una contribución esencial para garantizar la propagación del cedro negro mediante la evaluación de tratamientos pregerminativos efectivos, favoreciendo la recuperación de ecosistemas degradados, la preservación de la biodiversidad andina y el fortalecimiento de las oportunidades productivas sostenibles para las comunidades rurales.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la efectividad de los tratamientos pre germinativos de cedro negro (*Juglans neotropica*) en Santa María – Huila

Objetivos Específicos

Analizar el porcentaje de germinación de la semilla de cedro negro (*Juglans neotropica*) sometidas a los diferentes tratamientos pre germinativos

Evaluar el desarrollo de la semilla de cedro negro (*Juglans neotropica*) en diferentes sustratos.

Marco Conceptual y Teórico

Descripción Botánica de (*Juglans Neotropica*)

Juglans netropica es un árbol perteneciente a la familia Juglandaceae, monoico de crecimiento lento que puede llegar hasta los 40 (m) de altura y 80 (cm) de diámetro, la corteza esencialmente es de color rojo-pardo, fuste recto-cilíndrico, de hojas compuestas, alternas pinadas sin estipulas con bordes aserrados, ápice acuminado, haz oscuro glabro y envés verde pubescente, flores masculinas dispuestas en amentos en cambio flores femeninas encontradas en ramas terminales, fruto tipo drupa de color pardo negro en estado maduro (Fierro Ricaurte, 2023). Desafortunadamente, su reproducción natural se ve limitada por la baja tasa de germinación de sus semillas (Fonseca Cevallos, 2023). Esta especie es originaria de los Andes tropicales y se distribuye principalmente en Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, adaptándose a condiciones ambientales propias de los bosques montanos (Ramírez-López et al., 2025; Karina et al., 2025).

Condiciones Ambientales para su Desarrollo

El cedro negro se desarrolla en altitudes que oscilan entre 1.000 y 3.000 metros sobre el nivel del mar, en suelos bien drenados y ricos en materia orgánica. Prefiere climas húmedos, temperaturas moderadas y precipitaciones regulares, factores determinantes para su crecimiento y supervivencia (Israel, 2024). Cambios en estas condiciones, como la degradación del suelo y la reducción de la cobertura vegetal, afectan directamente la regeneración natural y aumentan la vulnerabilidad de la especie (UICN, 2023).

Problemáticas de Conservación

La sobreexplotación maderera, la expansión agrícola y la urbanización constituyen las principales amenazas para *J. neotropica*. Estas actividades han reducido drásticamente su área de

distribución, situándola en la categoría de “En Peligro” según la UICN (2023). Además, la baja tasa de regeneración natural derivada de la latencia de sus semillas incrementa la fragilidad genética de sus poblaciones (Maldonado, 2023).

Frente a este escenario, la propagación *ex situ* y el establecimiento de viveros especializados se presentan como estrategias fundamentales para asegurar la supervivencia de la especie (Islam & Widhalm, 2020).

Importancia Ecológica y Económica de la Especie

El cedro negro (*Juglans neotropica* Diels) es una especie de gran valor ecológico y económico en los ecosistemas andinos. Desde el punto de vista ecológico, contribuye a la regulación hídrica, la protección de suelos y la captura de carbono, lo que lo convierte en un componente esencial en los procesos de restauración y conservación. Esta especie, además, ofrece alimento y refugio a la fauna asociada, manteniendo la estructura y funcionalidad del bosque (Israel, 2024).

En el ámbito económico, el cedro negro es reconocido por la calidad de su madera, utilizada en la industria del mueble, la construcción y la fabricación de instrumentos musicales, lo que genera ingresos para las comunidades rurales y los mercados especializados (Ramírez-López, et al., 2025). Sin embargo, su sobreexplotación, junto con la expansión agrícola, ha disminuido de manera crítica sus poblaciones naturales, razón por la cual la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2023) lo clasifica como una especie en peligro, destacando la necesidad urgente de estrategias de propagación y conservación.

Caracterización de la Semilla de Cedro Negro (*Juglans neotropica*)

La semilla de cedro negro (*Juglans neotropica*), se caracteriza por tener un endocarpio grueso y leñoso que protege el embrión y la cubierta seminal. Este endocarpio proporciona una

capa protectora a la semilla del estrés ambiental y está compuesto principalmente por lignina, lo que contribuye a su dureza, rigidez y resistencia (Ramírez Lopez et al., 2023).

La semilla de *Juglans neotropica* es de tipo nuez, con un endocarpio surcado longitudinalmente de color café oscuro a casi negro, presenta un peso promedio de 23 g (rango de 7 g a 4 g), longitud de 3 cm (rango de 1 cm a 5 cm) y un ancho de 4 cm (rango de 2 cm a 6 cm). Además, tiene una fragancia suave y agradable al olfato humano, y en su interior alberga una almendra blanca que ocupa casi toda la cavidad de la semilla (Ramírez, 2022).

En relación con la latencia de la semilla, se ha encontrado que los frutos de *juglans neotropica* de seis meses de formación ya son aptos para iniciar su proceso de germinación. Estudios adicionales han demostrado que las semillas con una masa mayor a 15 g o una longitud mayor a 3 cm presentan altos índices de germinación. La semilla de *Juglans neotropica* presenta una germinación hipogea, lo que significa que los cotiledones de esta semilla no emergen a la superficie con facilidad. En lugar de eso, los cotiledones permanecen cubiertos por la testa dura de las semillas, lo que requiere que la semilla se siembre con la radícula en posición horizontal. Este tipo de germinación se conoce como criptocotiledonar según lo citado por (Fonseca Cevallos, 2023).

Tiempo de Germinación

En general se ha reportado que las semillas de *Juglans neotropica*, dura más de un mes para germinar. La germinación tiene inicio a los 66 días, con un periodo de germinación de 36 días, con un máximo de energía germinativa hacia los 31 días según lo investigado por (Maldonado, 2023).

Propagación por Semillas y Factores que Afectan la Germinación

La propagación por semillas es el método más común para la reproducción del cedro negro. Sin embargo, las semillas presentan una latencia física debido a la dureza de su endocarpio, lo que dificulta la absorción de agua y oxígeno, factores esenciales para la germinación (Maldonado, 2023).

La germinación de las semillas de cedro negro está influenciada por factores internos y externos. Entre los factores internos se encuentran la viabilidad de las semillas y la presencia de inhibidores químicos. Los factores externos incluyen la humedad, la temperatura, la luz y la calidad del sustrato. Estudios recientes han demostrado que la combinación de tratamientos pregerminativos y sustratos adecuados puede incrementar significativamente la tasa de germinación (Ramírez Lopez et al., 2023).

Tratamientos Pregerminativos

Los tratamientos pregerminativos son técnicas utilizadas para romper la latencia de las semillas y estimular la germinación. De estos se utilizaron los siguientes:

- Testigo: Este grupo sirve como referencia, sin recibir ningún tratamiento pregerminativo. Se utiliza para comparar la efectividad de los demás tratamientos.
- Escarificación mecánica: La escarificación mecánica es un proceso que consiste en el desgaste físico de la testa seminal mediante métodos abrasivos o de corte, como el lijado, con el fin de debilitar la cubierta dura de la semilla y permitir la entrada de agua al embrión (Fonseca Cevallos, 2023)
- Inmersión en agua: Este tratamiento consiste en sumergir las semillas en agua durante un período determinado, generalmente de 24 a 48 horas. El objetivo es hidratar la semilla

y estimular la imbibición, lo que lo que permite la activación de los procesos metabólicos (Almeida Guevara, 2020)

- Aplicación de hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica: Este tratamiento combina la escarificación mecánica con la aplicación de hormonas de enraizamiento, como el aloe vera. Las hormonas de enraizamiento promueven el crecimiento de las raíces y pueden mejorar la tasa de germinación y el vigor de las plántulas.

- Escarificación mecánica e inmersión en agua: Este tratamiento combina la escarificación mecánica con la inmersión en agua. La escarificación mecánica rompe la dormancia física, mientras que la inmersión en agua hidrata la semilla y estimula la imbibición. La combinación de ambos tratamientos puede tener un efecto sinérgico y mejorar aún más la germinación del cedro negro.

Sustratos

La elección del sustrato es crucial para el éxito de la germinación. Los sustratos que se utilizaron son:

- Arena de río: La arena de río es un material granular no consolidado compuesto por fragmentos sueltos de rocas, minerales o exoesqueletos de animales marinos, se lo usa como sustrato gracias a que brinda una buena permeabilidad y tienen una gran porosidad (Guanolema Tuquinga, 2022)

- Mantillo y cascarilla de arroz: El mantillo es un material orgánico compuesto por restos vegetales en descomposición, como hojas, ramas y corteza de árboles aporta materia orgánica, nutrientes y mejora la capacidad de retención de humedad. La cascarilla de arroz se considera un producto secundario de las fábricas molineras, que se obtiene de manera abundante en varios sectores arroceros de algunos países y que da buenas propiedades para ser usado como

sustrato. También tiene ciertas propiedades fisicoquímicas que posee un sustrato orgánico de baja tasa⁹ de descomposición, es ligero, de muy buen drenaje y buena circulación de aire (Guanolema Tuquinga, 2022)

- Arena de río, mantillo y cascarilla de arroz: La combinación de arena de río, mantillo y cascarilla de arroz reúne las ventajas de cada uno de estos sustratos, creando un ambiente óptimo para la germinación del cedro negro.

Metodología

Área de Estudio

El estudio se realizó en el municipio de Santa María, departamento del Huila, Colombia. Santa María es un municipio colombiano ubicado en el noroccidente del departamento del Huila, limita por el norte con Neiva; por el sur con Teruel; por el este con Palermo y por el oeste con Planadas (Tolima). Este cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para el cultivo de cedro negro (*Juglans neotropica*).

Geografía del Sitio de Investigación: Coordenadas

Las semillas de cedro negro se recolectaron en la vereda San Joaquín del municipio de Santa María, Huila en un predio propiedad del señor Julio Caviedes Perdomo, donde se seleccionó árboles adultos y sanos de bosques naturales. Este sitio consta de las siguientes coordenadas Latitud: 2°57'22.22"N, Longitud: 75°36'43.98"O y Altitud aproximadamente de 1500 msnm.

Características Climáticas

El municipio de Santa María, Huila, se caracteriza por un clima tropical de montaña, donde la temperatura media anual en el área urbana es de 16 °C. Esta temperatura se ve significativamente influenciada por la considerable amplitud altitudinal del municipio, que abarca desde los 950 msnm en las zonas bajas hasta los 3400 msnm en las zonas altas. Esta variación altitudinal crea microclimas distintivos dentro del municipio, que afectan la temperatura, los patrones de lluvia y las zonas de vegetación (IDEAM, 2023; Andrade Santander et al., 2025).

La precipitación anual en Santa María es considerable, con un promedio de 104 mm, distribuidos en aproximadamente 18 días de lluvia al mes. Esta distribución relativamente

constante de las precipitaciones a lo largo del mes es importante para mantener la humedad del suelo y favorecer el crecimiento de una vegetación diversa (Fuentes & Santana, 2025).

Tratamientos Pregerminativos

Se aplicaron cinco tratamientos pregerminativos a las semillas de cedro negro (*Juglans neotropica*). Cada tratamiento se realizó en tres repeticiones, y cada repetición consistió en 10 semillas, lo que nos dio un total de 90 semillas por tratamiento.

Tabla 1

Tratamientos Pregerminativos Utilizados

	Tratamientos	Descripción
T1	<i>Testigo</i>	Este tratamiento consistió en colocar las semillas directamente en cada uno de los sustratos
T2	<i>Escarificación mecánica</i>	Este tratamiento se llevó a cabo con ayuda de una lija n°80, durante 5 minutos teniendo cuidado para no dañar los cotiledones. Las semillas se sembraron en los tres tipos de sustratos
T3	<i>Inmersión en agua</i>	Este tratamiento consistió en la inmersión de las semillas en agua, donde se colocaron en remojo en agua tibia (50°C a 70°C), y luego se dejaron hasta que el agua se vaya enfriando gradualmente durante un día. Se sembraron en los diferentes tipos de sustratos
T4	<i>Aplicación de hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica</i>	Para este proceso se utilizó como hormona de enraizamiento el aloe vera, en el cual se aplicó en la capa externa de la semilla ya anteriormente escarificada y se sembraron en los tres tipos de sustratos
T5	<i>Escarificación mecánica e inmersión en agua</i>	En este tratamiento se utilizó una lija n°80 con la intención de desgastar un poco la superficie de la

testa. Luego de esto, se llevó la semilla ya escarificada a un recipiente con agua. Después de esto se dejó remojar durante 24 horas. Por último, se retiró la semilla y se sembró en el menor tiempo posible en los sustratos utilizados

Nota. La tabla muestra los tratamientos pregerminativos utilizados en el proyecto.

Sustratos

Se utilizaron tres tipos de sustratos para la germinación de las semillas de (*Juglans neotropica*):

Tabla 2

Sustratos Utilizados

Sustratos	Descripción
<i>Arena de río</i>	Sustrato inerte con buena capacidad de drenaje
<i>Mantillo y cascarilla de arroz</i>	Sustrato orgánico con alto contenido de materia orgánica y buena retención de humedad.
<i>Arena de río, mantillo y cascarilla de arroz</i>	Esta combinación proporciona un ambiente aireado, con buen drenaje y una nutrición equilibrada. Estos tratamientos pregerminativos y sustratos adecuados puede incrementar significativamente la tasa de germinación (Ramírez Lopez et al., 2023).

Nota. La tabla muestra los sustratos utilizados en el proyecto.

Materiales, Equipos y Software Utilizados

Tabla 3

Materiales, Equipos y Software Utilizados en la Investigación.

Materiales	Equipos	Software
Bolsas de germinación	Computadoras portátiles	Software estadístico R 4.5.0 RStudio
Lijas n°80	Cámara (celular)	Google earth pro
Semillas	GPS	Microsoft Excel Microsoft Word

Nota. La tabla muestra los materiales, equipos y software utilizados en la investigación.

Diseño Experimental

Para evaluar el efecto de diferentes tratamientos pregerminativos y sustratos sobre la germinación, el desarrollo y la permeabilidad de la semilla de cedro negro (*Juglans neotropica*), se empleó un diseño experimental factorial completamente al azar como se muestra en la figura 1. Este diseño estadístico permitió analizar de manera simultánea el efecto de dos factores principales: tratamientos pregerminativos (Testigo, escarificación mecánica, inmersión en agua, aplicación de hormonas de enraizamiento, escarificación mecánica y escarificación mecánica e inmersión en agua) y tipo de sustrato (arena de río, mantillo y cascarilla de arroz, arena de río, mantillo y cascarilla de arroz). Cada combinación de tratamiento y sustrato se replicó tres veces, con 10 semillas por repetición, lo que dio un total de 450 semillas (5 tratamientos x 3 sustratos x 10 semillas x 3 repeticiones). Ver figura 1.

Figura 1

Diseño Experimental Factorial Completamente al Azar

T3S1R1 ●	T5S1R1 ●	T4S2R1 ●	Factor 1	Factor 2
T1S2R3 ○	T2S3R3 ○	T1S3R1 ○	Tratamientos pregerminativos	Sustratos
T5S1R2 ●	T1S3R3 ○	T4S1R3 ●		
T3S2R2 ●	T2S2R2 ●	T3S3R2 ○	T1	S1 ●
T4S3R3 ○	T1S1R2 ●	T4S1R2 ●	T2	S2 ●
T2S1R2 ●	T5S2R2 ●	T3S2R1 ●	T3	S3 ○
T1S3R2 ○	T3S3R3 ○	T5S1R3 ●	T4	
T5S2R1 ●	T2S3R1 ○	T3S1R2 ●	T5	
T2S1R3 ●	T4S2R3 ●	T1S2R2 ○		
T4S1R1 ●	T3S3R1 ○	T2S2R3 ●		
T5S3R3 ○	T1S1R1 ●	T5S3R2 ○		
T2S3R2 ○	T4S2R2 ●	T4S3R1 ○		
T5S2R3 ●	T4S3R2 ○	T3S2R3 ●		
T1S1R3 ●	T5S3R1 ○	T2S1R1 ●		
T2S2R1 ●	T3S1R3 ●	T1S2R1 ○		

Nota. La figura muestra el diseño experimental implementado en el proyecto.

Variables para Medir

Las variables para medir fueron:

Porcentaje de Germinación: El número de semillas germinadas se dividió entre el número total de semillas sembradas y se multiplica por 100.

$$\%G = \frac{Sg}{Ss} * 100$$

Dónde:

$\%G$ = porcentaje de germinación

Sg = número de semillas germinadas

Ss = número total de semillas sembradas

Tiempo Medio de Germinación (TMG):

$$TMG = \frac{\sum(ni \times ti)}{\sum ni}$$

Dónde:

t_i = Tiempo en días transcurrido para la germinación en el i -ésimo día

n_i = Número de semillas germinadas en el i -ésimo día

Índice de Velocidad de Germinación (IVG): Se calcula la velocidad con la que las semillas germinaron. Se calcula mediante la siguiente formula:

$$IVG = \sum \frac{n_i}{t}$$

Dónde:

N_i = Número de semillas germinadas el día i

t = Tiempo de germinación desde la siembra hasta la germinación de la última semilla

Procedimiento Experimental

1. Recolección de semillas: Las semillas de cedro negro (*Juglans neotropica*) se recolectaron de árboles adultos y sanos ubicados en bosques naturales del municipio de Santa María.
2. Preparación de sustratos: Se obtuvo los diferentes sustratos y se prepararon las respectivas mezclas en cada bolsa.
3. Aplicación de tratamientos pregerminativos: Se aplicaron los cinco tratamientos pregerminativos a las semillas de acuerdo con el diseño experimental.
4. Siembra de semillas: Las semillas se sembraron en bolsas de germinación plásticas llenas del sustrato correspondiente. Se colocó una semilla por cada bolsa.
5. Manejo del invernadero: Las bolsas se colocaron en un invernadero con temperatura controlada (20-25°C) y humedad (60-70%).

6. Etiquetado: Se identificaron los diferentes tratamientos utilizando (T1, T2, T3, T4 y T5).
7. Variables medidas: Se registraron cada diez días el porcentaje de germinación, el tiempo medio de germinación y el índice de germinación hasta el día 60 post-siembra, considerado como el punto final del experimento para garantizar la comparabilidad de los datos y evitar sesgos por tiempo prolongado.

Análisis de Datos

Diseño Experimental: El diseño experimental utilizado en este estudio fue un diseño factorial completamente al azar (DCA), que permitió evaluar el efecto de dos factores principales

Tratamientos Pregerminativos: 5 niveles (Testigo, Escarificación mecánica, Inmersión en agua, aplicación de hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica, Escarificación mecánica e inmersión en agua).

Sustratos: 3 niveles (arena de río, mantillo y cascarilla de arroz, combinación de sustratos).

Cada combinación de tratamiento y sustrato se replicó tres veces, con 10 semillas por repetición, lo que dio un total de 450 semillas (5 tratamientos \times 3 sustratos \times 10 semillas \times 3 repeticiones).

Análisis Estadístico

Para analizar los datos obtenidos se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, con el propósito de evaluar el efecto de los tratamientos pregerminativos, los sustratos y la interacción entre ambos factores sobre las variables de respuesta (porcentaje de germinación, tiempo medio de germinación e índice de germinación). Este método es apropiado para diseños

factoriales y permite identificar la significancia estadística de los factores evaluados y sus interacciones (R Core, 2025).

Se establecieron las siguientes hipótesis:

Hipótesis Nula (H_0): No hay diferencias significativas entre los tratamientos pregerminativos, los sustratos o su interacción en las variables de respuesta.

Hipótesis Alternativa (H_1): Existen diferencias significativas entre los tratamientos pregerminativos, los sustratos o su interacción en las variables de respuesta.

En caso de encontrar diferencias significativas ($p < 0,05$) mediante ANOVA, se aplicó la prueba de Tukey (HSD) para determinar cuáles tratamientos o sustratos presentan diferencias estadísticas entre sí, siguiendo las recomendaciones para comparaciones múltiples en experimentos factoriales (Pagano et al., 2022)

El análisis estadístico se realizó con el software R (versión 4.5.0), ampliamente utilizado para análisis biométricos y validado en investigaciones recientes sobre germinación y propagación vegetal (R Core, 2025).

Resultados y Discusión

Porcentaje de Germinación

Los resultados experimentales mostraron que únicamente los tratamientos T4 (escarificación mecánica y aplicación de hormonas de enraizamiento) y T5 (escarificación mecánica e inmersión en agua) lograron la germinación de *Juglans neotropica*, mientras que los tratamientos T1 (testigo), T2 (escarificación mecánica) y T3 (inmersión en agua) no produjeron plántulas en ninguno de los sustratos evaluados (Tabla 5). La efectividad exclusiva de los tratamientos T4 y T5 evidencia que la combinación de escarificación mecánica con otros métodos es necesaria para superar la latencia física de *Juglans neotropica*, posiblemente debido a la dureza del endocarpio y la presencia de inhibidores químicos, características previamente descritas para especies del género *Juglans* (Romero & Ortiz, 2022).

Tabla 4

Porcentaje de Germinación

Tratamiento	Sustrato	Replica	Sembradas	Germinadas	Porcentaje
T4	S1	1	10	4	40
T4	S1	2	10	9	90
T4	S1	3	10	7	70
T4	S2	1	10	10	100
T4	S2	2	10	10	100
T4	S2	3	10	9	90
T4	S3	1	10	9	90
T4	S3	2	10	8	80
T4	S3	3	10	5	50
T5	S1	1	10	6	60
T5	S1	2	10	3	30
T5	S1	3	10	4	40

T5	S2	1	10	7	70
T5	S2	2	10	10	100
T5	S2	3	10	9	90
T5	S3	1	10	8	80
T5	S3	2	10	5	50
T5	S3	3	10	8	80

Nota. La tabla muestra el porcentaje de germinación para el tratamiento T4 y T5.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Cué-García et al. (2024), quienes encontraron que no todos los métodos de pregerminación son efectivos y que la escarificación simple no siempre supera la latencia en esta especie. De forma similar, la tesis de Maldonado (2023) demostró que tratamientos combinados ofrecen mayores porcentajes de germinación frente a técnicas convencionales.

Análisis de Varianza (ANOVA de Dos Vías)

Para el análisis estadístico, se utilizó un ANOVA de dos vías considerando únicamente los tratamientos efectivos (T4 y T5). Dado que la variable de respuesta (porcentaje de germinación) no se ajustó a los supuestos de normalidad en su escala original, se aplicó una transformación logarítmica natural (\ln). El modelo evaluó el efecto de dos factores: Tratamiento Pregerminativo (2 niveles: T4 y T5) y Sustrato (3 niveles: S1, S2, S3). Los resultados bajo esta transformación indicaron que el factor sustrato presentó un efecto estadísticamente significativo ($F = 5.920$; $p = 0.0163$), mientras que el factor tratamiento pregerminativo ($F = 1.984$; $p = 0.1843$) y la interacción entre ambos ($F = 0.714$; $p = 0.5092$) no mostraron diferencias significativas.

Tabla 5*Porcentaje Germinación ANOVA de dos Vías*

	Df	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Valor F	Valor P (Pr(>F))
Sustrato	2	0.9891	0.4945	5.920	0.0163 *
Tratamiento	1	0.1657	0.1657	1.984	0.1843
Sustrato-Tratamiento	2	0.1193	0.0597	0.714	0.5092
Residuales	12	1.0024	0.0835		

Nota. Resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) sobre el efecto de los tratamientos

pregerminativos y sustratos. *Fuente Propia*

La no significancia estadística entre tratamientos pregerminativos sugiere que, una vez superada la latencia mediante métodos efectivos, las diferencias entre T4 y T5 no son determinantes para el porcentaje final. Sin embargo, Ramírez-López et al. (2025) destacan que la germinación de *J. neotropica* es altamente variable y depende tanto de las condiciones de manejo como del origen del material, lo que podría explicar las diferencias observadas entre estudios.

Supuesto de Normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk a los residuales del modelo ANOVA. El resultado ($W = 0.94112$, $p\text{-value} = 0.3028$) no fue significativo ($p > 0.05$) lo que permite concluir con un 95% de confianza que los residuales del modelo, bajo la transformación logarítmica, se ajustan a una distribución normal.

El cumplimiento del supuesto de normalidad bajo transformación logarítmica valida estadísticamente los análisis realizados, proporcionando robustez a las conclusiones obtenidas, aspecto fundamental señalado por Pagano et al. (2022) para experimentos factoriales.

Supuesto de Varianza Constante

El supuesto de homocedasticidad (varianzas constantes) se evaluó mediante la prueba de Levene, la cual indico homogeneidad de varianzas para el factor sustratos ($p = 0.07602$) y para el factor tratamiento ($p = 0.5054$), confirmando el cumplimiento del supuesto de varianzas constantes.

Tabla 6

Prueba de Levene para el Factor Sustrato

	Df (Grados de Libertad)	Valor F	Valor P Pr(>F)
Grupo	2	3.0748	0.07602
	15		

Nota. Prueba aplicada sobre la variable Germinación transformada logarítmicamente. El valor $p > 0.05$ indica homogeneidad de varianzas entre los tipos de sustratos.

Tabla 7

Prueba de Levene para el Factor Tratamientos

	Df (Grados de Libertad)	Valor F	Valor P Pr(>F)
Grupo	1	0.4642	0.5054

Nota: Prueba aplicada sobre la variable Germinación transformada logarítmicamente. El valor $p > 0.05$ indica homogeneidad de varianzas entre los tipos de tratamientos pregerminativos. *Fuente propia*

Los valores $p > 0.05$ en la prueba de Levene para ambos factores permiten concluir con un 95% de confianza que existe homogeneidad de varianzas entre grupos, lo que valida así este supuesto y el uso del ANOVA paramétrico según lo establecido por Pagano et al. (2022) para comparaciones múltiples en experimentos factoriales. Este cumplimiento del supuesto de

homocedasticidad, junto con la normalidad previamente verificada, confirma que las transformaciones logarítmicas aplicadas fueron efectivas para estabilizar las varianzas en los datos de porcentaje de germinación.

Pruebas de Comparación de Medias

La prueba de comparación de medias de Tukey aplicada al factor sustrato reveló que el sustrato mantillo y cascarilla de arroz registró el mayor porcentaje de germinación (91.67%), siendo estadísticamente superior al sustrato Arena de Río (55.00%). El sustrato arena, mantillo y cascarilla presentó un valor intermedio (71.67%) sin diferencias estadísticas significativas con los otros dos sustratos. Esta prueba solo se hizo para el factor sustrato dado que para los tratamientos y la interacción no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 8

Prueba de Comparación de Medias de Tukey Aplicada al Factor Sustrato

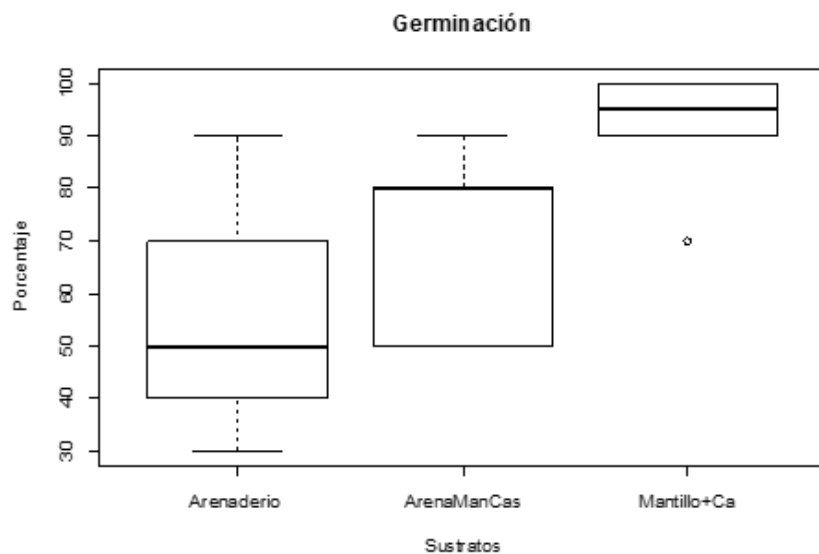
Sustratos	IVG (Datos Originales)	Agrupación Estadística
Mantillo y cascarilla de arroz	91.67	a
Arena, mantillo y cascarilla	71.67	ab
Arena de rio	55.00	b

Nota. Las letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

La superioridad del sustrato mantillo y cascarilla corrobora lo observado por Palacios-Herrera et al. (2025), quienes encontraron que medios con mayor porosidad y retención moderada de humedad mejoran la emergencia en especies leñosas. Los porcentajes obtenidos (hasta 91.67%) superan lo reportado por Ramírez-López et al. (2025) en condiciones de agroforestería (69%), destacando el potencial de los sistemas controlados.

Figura 2

Diagrama de Cajas y Bigotes del Porcentaje por Tratamiento y Sustrato



Nota. El gráfico muestra el porcentaje promedio de germinación en función de los tratamientos pregerminativos y los diferentes sustratos.

Tiempo Medio de Germinación (TMG)

Los valores de Tiempo Medio de Germinación (TMG) mostraron marcadas diferencias entre tratamientos pregerminativos. El tratamiento T4 (hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica) registró los menores tiempos de germinación, con promedios entre 36.7 y 38.6 días, mientras que el tratamiento T5 (escarificación mecánica e inmersión en agua) presentó los valores más prolongados, entre 54.4 y 57.6 días (tabla 9).

Tabla 9*Tiempo Medio de Germinación (TMG en días) por Tratamiento y Sustrato*

Tratamiento	Sustrato	TMG Promedio (días)
T4	S1	38.6
T4	S2	36.7
T4	S3	37.3
T5	S1	57.6
T5	S2	55.4
T5	S3	54.4

Nota. La tabla muestra el tiempo medio de germinación (TMG)

Este comportamiento contrasta con lo señalado por Maldonado (2023), quien reportó que incluso con la aplicación de tratamientos pregerminativos la germinación de *J. neotropica* suele tardar entre 40 y 70 días, y que bajo condiciones naturales el TMG puede superar los 60 días. En este sentido, los resultados de la presente investigación sugieren que la incorporación de hormonas, junto con la escarificación mecánica, acelera significativamente la emergencia de plántulas, lo que representa una ventaja práctica en viveros y programas de reforestación.

Análisis de Varianza (ANOVA de Dos Vías)

El análisis de varianza aplicado al tiempo medio de germinación mostró que el factor tratamiento pregerminativo presentó un efecto estadístico altamente significativo ($F = 415.507$; $p = 1.12e-10$), mientras que el factor sustrato ($F = 2.592$; $p = 0.116$) y la interacción sustrato \times tratamiento pregerminativo ($F = 0.422$; $p = 0.665$) no mostraron diferencias significativas.

Maldonado (2023) encontró resultados similares al señalar que ciertos tratamientos modifican la latencia de manera más efectiva. La no significancia del factor sustrato sugiere que, para la variable tiempo de germinación, las características del medio no ejercen una influencia determinante una vez iniciado el proceso germinativo.

Tabla 10

ANOVA para Evaluar Efecto del Tratamiento y Sustrato

Fuente de Variación	Df (Grados de Libertad)	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor F	Valor P (Pr(>F))
Sustratos	2	18.7	9.4	2.592	0.116
Tratamientos	1	1502.5	1502.5	415.507	1.12e-10
Sustratos-Tratamientos	2	3.1	1.5	0.422	0.665
Residuales	12	43.4	3.6		

Nota. La tabla muestra los resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) sobre el efecto de los tratamientos pregerminativos y sustratos.

Supuesto de Normalidad

Para validar la robustez de los resultados del ANOVA, se verificó el supuesto de normalidad de los residuales mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El resultado obtenido ($W = 0.7981$; $p\text{-value} = 0.001428$) fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica una desviación significativa de la normalidad en la distribución de los residuales del modelo ANOVA. Según Pagano et al. (2022), cuando los residuales no siguen una distribución normal, los resultados del ANOVA pueden perder validez, requiriendo el uso de pruebas no paramétricas.

Análisis No Paramétrico para TMG

Debido a que no se cumplió el supuesto de normalidad en el modelo ANOVA, se procedió a utilizar métodos no paramétricos para confirmar los hallazgos. Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis al factor tratamiento pregerminativo (dado que fue el único significativo en el ANOVA inicial). Esta prueba, que compara medianas, también mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p = 0.0003486$).

Tabla 11

Prueba de Kruskal-Wallis para el Factor Tratamiento

Variable	Factor	Estadístico χ^2	Df (Grados de Libertad)	Valor p
TMG	Tratamientos	12.789	1	0.0003486

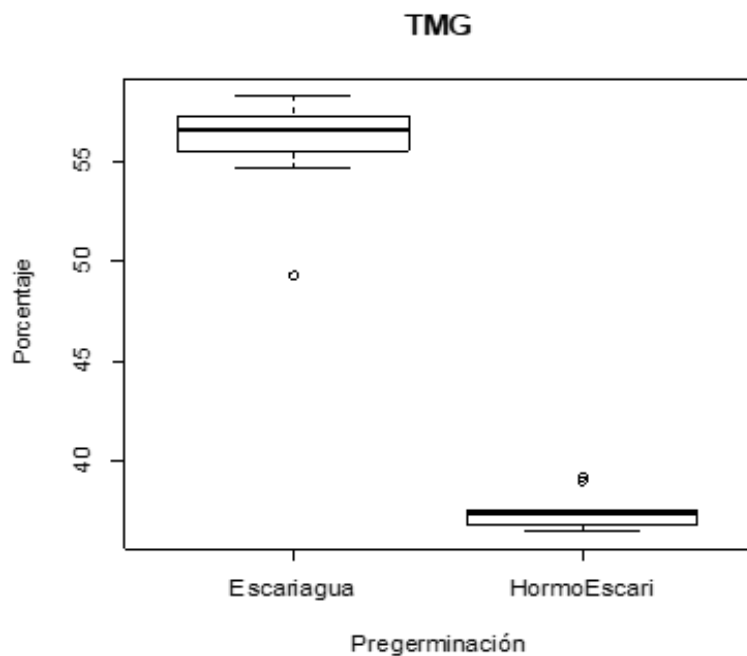
Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de la prueba Kruskal-Wallis para el factor tratamiento.

Para identificar la fuente de esta diferencia, se realizó una prueba de comparación por pares de Wilcoxon. Los resultados confirmaron que la diferencia entre el tratamiento T4 (hormonas de enraizamiento y escarificación) y T5 (escarificación mecánica e inmersión en agua) era estadísticamente significativa ($p\text{-value} = 0.000041$).

Tanto el ANOVA como las pruebas no paramétricas convergen en que el tratamiento pregerminativo tiene un efecto altamente significativo sobre el TMG, siendo T4 significativamente más rápido que T5. El uso de los métodos no paramétricos valida este hallazgo a pesar de la falta de normalidad en los residuales.

Figura 3

Tiempo Medio de Germinación (TMG) por Tratamiento Pregerminativo



Nota. Boxplots muestran la distribución del TMG (días) para los tratamientos T4 (hormonas de enraizamiento y escarificación) y T5 (escarificación mecánica e inmersión en agua). La línea central indica la mediana. .

Índice de Velocidad de Germinación (IVG)

Los valores de IVG mostraron marcadas diferencias entre tratamientos y sustratos. El tratamiento T4 (hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica) presentó los mayores valores 0.172 - 0.264, siendo consistentemente superior al tratamiento T5 (escarificación mecánica e inmersión en agua) con 0.075 - 0.157. El sustrato S2 (mantillo y cascarilla de arroz) registró los mejores promedios para ambos tratamientos, mientras que S1 (Arena de río) mostró los valores más bajos, Tabla 12.

Tabla 12*Índice de Velocidad de Germinación (IVG)*

Tratamiento	Sustrato	IVG Promedio
T4	S1	0.172
T4	S2	0.264
T4	S3	0.197
T5	S1	0.075
T5	S2	0.157
T5	S3	0.123

Nota. La tabla muestra el índice de germinación.

La diferencia de 0.097 puntos en el IVG entre T4 (promedio general 0.211) y T5 (promedio general 0.118) representa una ventaja del 82% en velocidad de germinación para el tratamiento con hormonas. Esta superioridad coincide con lo reportado por Cué-García et al. (2024), quienes encontraron que tratamientos fisiológicos controlados incrementan la velocidad y uniformidad de germinación en especies con latencia dura. El mejor desempeño del sustrato S2 corrobora lo observado por Cevallos et al. (2023), quienes señalaron que la germinación de especies del género *Juglans* se optimiza en sustratos con adecuada aireación y retención de humedad.

Análisis de Varianza (ANOVA de Dos Vías)

El análisis de varianza bajo transformación logarítmica natural 1 mostró que tanto el factor tratamiento pregerminativo ($F = 23.537$; $p = 0.000397$) como el factor sustrato ($F = 7.075$;

$p = 0.009336$) presentaron efectos altamente significativos sobre el IVG, mientras que la interacción entre factores no fue significativa ($F = 0.242$; $p = 0.788745$).

Tabla 13

ANOVA de dos Vías para IVG

Fuente de Variación	Df (Grados de Libertad)	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor P (Pr(>F))
Sustratos	2	0.016869	0.008434	7.075	0.009336 **
Tratamientos	1	0.028058	0.028058	23.537	0.000397 ***
Sustratos - Tratamientos	2	0.000577	0.000289	0.242	0.788745
Residuales	12	0.014305	0.001192		

Nota. Se aplicó transformación logarítmica ($\log(\text{IVG1})$) a los datos del IVG para cumplir con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas requeridos en el ANOVA.

En la Tabla 13 se puede observar la alta significancia del factor tratamiento pregerminativo el cual indica que la elección del método para superar la latencia es determinante en la velocidad de germinación. Esto coincide con lo reportado por Cué-García et al. (2024), quienes encontraron que tratamientos que combinan escarificación mecánica con estímulos fisiológicos activan más rápidamente los procesos metabólicos de la semilla.

La significancia del factor sustrato sugiere que las características físicas y químicas del medio de siembra también influyen en la velocidad del proceso germinativo, tal como lo señaló Cevallos et al. (2023) para especies del género *Juglans*.

La no significancia de la interacción entre factores indica que el efecto de los tratamientos pregerminativos fue consistente a través de los diferentes sustratos, simplificando las recomendaciones de manejo para la propagación de esta especie.

Supuesto de Normalidad

La prueba de Shapiro-Wilk aplicada a los residuales del modelo mostró $p = 0.5989 > 0.05$, indicando que se cumple el supuesto de normalidad bajo transformación logarítmica 1.

El valor $p = 0.5989$ obtenido en la prueba de Shapiro-Wilk confirma el cumplimiento del supuesto de normalidad en los residuales del modelo ANOVA bajo transformación logarítmica natural¹. Según Pagano et al. (2022), cuando los residuales se ajustan a una distribución normal, los resultados del ANOVA son estadísticamente válidos y las conclusiones sobre los efectos de los tratamientos y sustratos son confiables.

Supuesto de Varianza Constante

Las pruebas de Levene para el factor sustratos ($p = 0.8214$) y para el factor pregerminación ($p = 0.7014$) mostraron $p > 0.05$, confirmando homogeneidad de varianzas.

Tabla 14

Verificación de Supuesto de Homogeneidad de Varianzas (Test de Levene) para cada Factor del Modelo ANOVA

Factor	Grados de Libertad (grupo)	Grados de Libertad (residual)	Valor F	Valor p
Sustratos	2	16	0.1993	0.8214
Tratamientos	1	16	0.1524	0.7014

Nota. Se aplicó la prueba de Levene con centro en la mediana sobre la variable transformada log (IVG 1).

Los valores $p = 0.8214$ (sustratos) y $p = 0.7014$ (tratamientos) obtenidos en las pruebas de Levene verifican el cumplimiento del supuesto de homocedasticidad. Esto indica que las varianzas entre los diferentes grupos de tratamientos y sustratos son homogéneas, lo que según Pagano et al. (2022) garantiza que las comparaciones estadísticas realizadas en el ANOVA sean apropiadas y no estén sesgadas por diferencias en la variabilidad entre grupos.

Pruebas de Comparación de Medias

La prueba de Tukey aplicada al factor tratamiento pregerminativo identificó diferencias altamente significativas entre T4 (IVG = 0.211) y T5 (IVG = 0.119). Para el factor sustrato, la prueba mostró que S2 (IVG = 0.211) fue significativamente superior a S1 (IVG = 0.124), mientras que S3 (IVG = 0.160) mostró valores intermedios sin diferencias significativas con los otros dos sustratos.

Tabla 15

Prueba de Comparación de Medias de Tukey para el Factor Sustratos

Sustratos	IVG (Datos Originales)	Agrupación Estadística
Mantillo y cascarilla de arroz	0.2105356	a
Arena, mantillo y cascarilla	0.1599509	ab
Arena de río	0.1237856	b

Nota. Las comparaciones se realizaron sobre log (IVG 1). Las diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$). *Fuente* Propia

Tabla 16*Prueba de Comparación de Medias de Tukey para el Factor Tratamientos*

Tratamientos	IVG (Datos Originales)	Agrupación Estadística
T4 (Aplicación de hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica)	0.2109502	a
T5 (Escarificación mecánica e inmersión en agua)	0.1185645	b

Nota. Las comparaciones se realizaron sobre log (IVG 1). Las diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Estos resultados coinciden con lo señalado por Maldonado (2023), quien reportó que la escarificación mecánica, al debilitar la cubierta dura del endocarpio, permite una imbibición más eficiente y acelera el inicio de la germinación. Además, el uso de aloe vera como bioestimulante (integrado en T4) aporta fitohormonas y compuestos bioactivos que activan procesos metabólicos iniciales, lo que explicaría la ventaja observada en este tratamiento. Por su parte, T5, basado en hidratación prolongada, también mejoró el IVG respecto al testigo, pero de manera menos eficiente, coincidiendo con lo descrito por Guanolema (2022) y Ramírez López et al. (2023), quienes señalan que la hidratación promueve la activación metabólica, aunque con mayor dispersión temporal en la emergencia de plántulas.

La superioridad del sustrato S2 sobre S1 en el IVG concuerda con lo documentado por Cevallos et al. (2023), quienes señalaron que sustratos con adecuada aireación y retención de humedad optimizan los procesos de germinación en especies del género *Juglans*. La posición

intermedia de S3 sugiere que las características físicas de este sustrato, aunque mejores que S1, no alcanzan las condiciones óptimas proporcionadas por S2.

Recomendaciones

Los resultados de esta investigación permiten recomendar el tratamiento T4 (hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica) como la estrategia más efectiva para la propagación de *Juglans neotropica*, especialmente cuando se emplea en combinación con sustratos enriquecidos que incluyan materia orgánica y cascarilla de arroz. Esta combinación asegura altos porcentajes de germinación, menores tiempos de emergencia y una mayor uniformidad en el proceso, constituyéndose en la opción más confiable para la producción de plántulas en vivero.

Sin embargo, es necesario considerar que algunos insumos, como el mantillo, pueden implicar costos adicionales cuando se busca producir grandes cantidades de plantas. Por ello, se recomienda fomentar el uso de insumos locales y subproductos de las actividades agrícolas tradicionales, como compost elaborado a partir de residuos orgánicos, estiércol bien descompuesto o mezclas con tierra negra, de modo que se reduzcan costos sin comprometer la calidad del sustrato. La cascarilla de arroz, por su bajo costo y disponibilidad en la región, se presenta como un recurso clave para complementar estas mezclas.

Dada la importancia de *Juglans neotropica* como especie nativa de alto valor ecológico y cultural, se sugiere fomentar su siembra no solo en viveros especializados, sino también en sistemas agroforestales de pequeños productores. Su integración con cultivos como café, plátano o maíz puede ofrecer beneficios adicionales, ya que provee sombra, contribuye a la conservación de suelos y a la retención de humedad, además de diversificar la producción y los ingresos en las familias agricultoras. De esta manera, la especie puede recuperar el papel que históricamente tuvo en la economía y cultura rural, aportando al mismo tiempo a la conservación de la biodiversidad.

A nivel de políticas locales y programas de reforestación, se recomienda apoyar la implementación de protocolos de propagación eficientes (como el T4 con sustratos orgánicos) en viveros comunitarios y familiares, facilitando el acceso a insumos y capacitaciones para las comunidades rurales. Este acompañamiento permitirá que la siembra de *Juglans neotropica* se convierta en una alternativa real de restauración ecológica y producción sostenible.

Finalmente, para futuras investigaciones, sería conveniente validar este protocolo en condiciones de campo y en diferentes regiones, así como explorar el uso de bioestimulantes naturales de bajo costo. Estas acciones permitirán ajustar las recomendaciones a la diversidad de contextos productivos y garantizar que el cedro negro continúe siendo una especie viable y atractiva para la producción campesina y la recuperación de paisajes

Conclusiones

Los resultados de este trabajo permiten comprender de manera integral la efectividad de los tratamientos pregerminativos aplicados a *Juglans neotropica* en Santa María – Huila, así como el papel determinante que cumplen los diferentes sustratos en el desarrollo de la germinación. Mientras que los métodos simples, como la escarificación mecánica aislada o la inmersión en agua, no generaron germinación, la combinación de hormonas de enraizamiento con escarificación mecánica (T4) se consolidó como el tratamiento más eficiente. Con este manejo fue posible alcanzar porcentajes de germinación de hasta un 97 % en el sustrato compuesto por mantillo y cascarilla de arroz (S2), con réplicas que incluso alcanzaron el 100 %. En contraste, el tratamiento T5 (escarificación e inmersión en agua) presentó valores intermedios que oscilaron entre el 43 % en arena de río (S1) y el 87 % en S2. El análisis estadístico confirmó que la elección del sustrato tiene un efecto significativo en el éxito germinativo, siendo S2 estadísticamente superior a la arena de río (S1).

El análisis del tiempo medio de germinación (TMG) reafirmó la superioridad de T4, ya que permitió alcanzar el 50 % de emergencia en apenas 36.7 y 38.6 días, mientras que T5 requirió entre 54.4 y 57.6 días, es decir, alrededor de tres semanas más. Esta reducción del tiempo no solo representa una ventaja en términos de eficiencia, sino que también ofrece un beneficio práctico para los viveros, al acelerar la disponibilidad de plántulas.

Asimismo, el índice de velocidad de germinación (IVG) mostró diferencias claras entre tratamientos. T4 registró los valores más altos, con un rango de 0.172 - 0.264, lo que refleja una germinación más rápida y sincronizada. T5 alcanzó valores significativamente menores, entre 0.075 - 0.157, lo que representa una ventaja del 82% en velocidad de germinación para el tratamiento con hormonas (T4), mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 permanecieron nulos,

confirmando nuevamente que la aplicación de estímulos fisiológicos es indispensable para activar la viabilidad de la semilla.

En cuanto al efecto de los sustratos, se evidenció que S2 (mantillo y cascarilla de arroz) fue el medio más favorable, potenciando tanto el porcentaje como la rapidez y uniformidad de la germinación. El sustrato combinado (S3) también ofreció resultados aceptables, especialmente en interacción con T4, alcanzando valores del 73 % de germinación, aunque sin igualar los obtenidos en S2. Por el contrario, la arena de río (S1) se mostró limitada para la propagación, con porcentajes bajos y tiempos de germinación más prolongados, lo que pone de relieve la importancia de utilizar sustratos con mejor retención de humedad, aireación y aporte de materia orgánica.

La interacción entre el tratamiento pregerminativo y el sustrato resultó no significativa para todas las variables, indicando que el efecto positivo de T4 se mantiene de forma consistente a través de los diferentes sustratos. Sin embargo, el sustrato S2 (mantillo y cascarilla de arroz) se establece como el medio óptimo, al potenciar los mejores resultados en porcentaje, velocidad y uniformidad de la germinación.

En síntesis, este trabajo valida científicamente un protocolo eficiente para la propagación de *Juglans neotropica*, concluyendo que la combinación del tratamiento T4 (hormonas de enraizamiento y escarificación mecánica) con el sustrato S2 (mantillo y cascarilla de arroz) no solo garantiza porcentajes de germinación cercanos al 100 %, sino que además reduce el tiempo medio de emergencia a poco más de un mes y asegura un proceso más rápido y uniforme en comparación con cualquier otro tratamiento. Estos hallazgos ofrecen una solución práctica y científicamente validada para la producción de plántulas en vivero y constituyen un aporte

valioso para los programas de conservación y restauración ecológica del cedro negro en la región del Huila.

Referencias Bibliográficas

- Almeida Guevara, P. E. (2020). *Efecto del sustrato enriquecido con trichoderma spp. más citoquininas, en cinco métodos de escarificación en semillas de nogal (juglans neotrópica diels)* [Tesis de pregrado, Escuela superior politécnica de chimborazo]. Repositorio Institucional. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14122>
- Andrade Santander, D. C., Fonseca González, R. E., Muñoz Ordoñez, R., Pérez Ibarra, I. N., & Pulido Osorio, M. D. (2025). *Análisis de los cambios en la cobertura de la tierra del páramo Cerro Negro-San Francisco (Nariño-Colombia) entre 1989 y 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/7458>
- Cevallos, D. F. F., Díaz, E. F. P., Toledo, D. D. S., Benavides, J. G. C., Molina, E. M. V., & Flores, B. H. G. (2023). Análisis de Tratamientos Pregerminativos Químicos en Semillas de Juglans Neotropica Diels De Procedencia de San Blas, Cantón Urcuquí, Imbabura-Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 8428–8441. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7571
- Cué-García, J. L., Ramírez-López, J. L., & Chagna-Ávila, E. J. (2024). Pre-germination treatments and different substrates on seed germination of *Juglans neotropica Diels*, Ecuador. *Ciência Florestal*. Retrieved from <https://doi.org/10.5902/1980509883757>
- Díaz-Páez, M., Werden, L. K., Zahawi, R. A., Usuga, J., & Polanía, J. (2021). Vegetative propagation of native tree species: an alternative restoration strategy for the tropical Andes. *Restoration Ecology*, 30(7). <https://doi.org/10.1111/rec.13611>
- Fierro Ricaurte, M. A. (2023). *Caracterización dasométrica de familias de Juglans neotropica diels recolectadas en la provincia de Tungurahua* [Tesis de grado, Escuela Superior

- Politécnica de Chimborazo]. Repositorio Institucional. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/21220>
- Fonseca Cevallos, D. F. (2023). *Determinación de tratamientos pregerminativos químicos de semillas de juglans neotropica diels proveniente de la parroquia San Blas, cantón Urcuquí, provincia de Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14974>
- Fuentes Delgado, J. E., & Santana Rodríguez, L. M. (2025). Evolución de los glaciares tropicales de Colombia (2010-2023) utilizando herramientas geoespaciales. *Revista de Geografía Norte Grande*, (91), 00-00. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022025000200101>
- Guanolema Tuquinga, M. P. (2022). *Evaluación de cinco métodos de escarificación y dos sustratos para la producción de plantas de nogal (Juglans neotropica), en el vivero Guaslán, cantón Riobamba* [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17047>
- IDEAM. (2023). Atlas climatológico de Colombia 2023. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://doi.org/10.35111/ideam-clima-2023>
- Islam, A. K. M. M., & Widhalm, J. R. (2020). Agricultural uses of juglone: Opportunities and challenges. *Agronomy*, 10(10), 1500. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101500>
- Israel, R. A. D. (2024, 18 de enero). *Estudio dendroclimático de Juglans neotropica Diels en cuatro ecosistemas andinos de la provincia de Loja al sur de Ecuador, previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Institucional. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/28802>
- Karina, J., Villagran-Castañeda, J. E., Farinango-Coyago, M. C., & Tituaña-Maigua, L. S. (2025). Análisis comparativo de atributos dendrológicos y tecnológicos de cinco especies

forestales nativas como insumo para la innovación en sistemas forestales sostenibles.

<http://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/n3/70>

- Maldonado, M. (2023). *Efecto de cuatro tratamientos pre germinativos en semillas de nogal (Juglans neotropica Diels), Jaén, Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5622>
- Mihai, R. A., Heras, E. J. M., Valdiviezo, E. a. P., Caiza, I. a. E., Insuaste, N. S. C., Mejía, J. P., Catana, R. D., Moldoveanu, M. M., & Florescu, L. I. (2023). Somatic embryogenesis of representative medicinal trees in South America—Current status. *Forests*, *14*(10), 2066. <https://doi.org/10.3390/fl4102066>
- Pagano, M., Gauvreau, K., & Mattie, H. (2022). *Principles of biostatistics*. <https://doi.org/10.1201/9780429340512>
- Palacios-Herrera, B., Pereira-Lorenzo, S., & Pucha-Cofrep, D. (2025). Phenotypic Variability of *Juglans neotropica* Diels from Different Provenances During Nursery and Plantation Stages in Southern Ecuador. *Forests*, *16*(7), 1141. <https://doi.org/10.3390/fl6071141>
- Ramírez Lopez, J., Hugo, V. Á., & Añazco Romero, M. (2023). *Evaluación de tratamientos pre-germinativos en semillas de Juglans neotropica Diels. en el norte del Ecuador*. Bosques Latitud Cero vol, 13(1) Páginas: 83 - 93. <https://doi.org/10.54753/blc.v13i1.1737>
- Ramírez-López, J. L., Vallejos-Álvarez, H. V., & Añazco-Romero, M. J. (2025). Assessment of three provenances of *Juglans neotropica* Diels to identify optimal seed sources in the northern Ecuadorian Andes. *International Journal of Plant Biology*, *16*(3), 87. <https://doi.org/10.3390/ijpb16030087>

- Ramírez, F. (2022). Nut length–weight relationships in the endangered Nogal (*Juglans neotropica* Diels). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(5), 1731–1736.
<https://doi.org/10.1007/s10722-022-01367-w>
- R Core, R. (2025). R: Un lenguaje y entorno para la computación estadística.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bc748aec2bcc46eb319d5446da614b37729e9dbe>
- Romero Moya, L. C., & Ortiz Ortiz, B. J. (2022). *Acompañamiento técnico en la propagación de especies nativas del bosque andino y el establecimiento de un vivero forestal comunitario en la Reserva Natural "Umbral Cultural Horizontes"* [Trabajo de grado o Informe técnico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.
<http://hdl.handle.net/11349/30335>
- Sadat-Hosseini, M., Arab, M. M., Soltani, M., Eftekhari, M., Soleimani, A., & Vahdati, K. (2022). Predictive modeling of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in vitro proliferation media using machine learning approaches: a comparative study of ANN, KNN and GEP models. *Plant Methods*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s13007-022-00871-5>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2023). *Lista roja de especies amenazadas*.
- Vivanco, D. M., Abad, S., Malagón, O., & Armijos, C. (2021). Productos Forestales No Maderables de la comunidad El Tundo: un remanente boscoso de biodiversidad y conocimiento ancestral del sur del Ecuador. *Bionatura*, 6(4), 2161–2174.
<https://doi.org/10.21931/rb/2021.06.04.5>
- Ybañez-Julca, R. O., Asunción-Alvarez, D., Quispe-Díaz, I. M., Acuña-Tarrillo, E. E., Venegas-Casanova, E. A., Jara-Aguilar, R., Mantilla-Rodríguez, E., Enríquez, C., Vásquez-

Corales, E., Catalán, M. A., & Benites, J. (2025). Exploring the spasmolytic effect of peruvian nogal extract and its metabolite juglone. Potential mechanisms of action: In vitro and in silico studies. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *190*, 118400.

<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2025.118400>

Apéndices

Apéndice A

Recolección de Semillas de Cedro Negro



Nota. Proceso de recolección de frutos de cedro negro en un individuo adulto ubicado en la vereda San Joaquín, municipio de Santa María (Huila).

Apéndice B

Morfología y Calidad de las Semillas de Juglans Neotropica



Nota. Muestra representativa de las semillas seleccionadas para el experimento. Se observa la típica forma ovoide, el endocarpio leñoso de color café y la superficie surcada, características de semillas maduras y viables de cedro negro.

Apéndice C

Preparación de Sustratos



Nota. En la imagen se distinguen los tres sustratos evaluados, Arena de río, mantillo y cascarilla de arroz y arena, mantillo y cascarilla. Este proceso garantizó la uniformidad del medio de crecimiento para las unidades experimentales.

Apéndice D

Aplicación del Tratamiento de Escarificación Mecánica



Nota. Desgaste físico del endocarpio de la semilla mediante lijado (lija No. 80). Se realizó en los tratamientos T2, T4 y T5).

Apéndice E

Aplicación del Tratamiento de Inmersión en Agua



Nota. Hidratación de las semillas mediante inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas (Tratamientos T3 y T5).

Apéndice F

Aplicación de Hormona de Enraizamiento (Aloe Vera)



Nota. Bioestimulación de semillas previamente escarificadas mediante la aplicación de Aloe vera. Este tratamiento combinado (T4) buscó potenciar la actividad metabólica y el desarrollo radicular tras la ruptura de la dormancia.

Apéndice G

Diseño Experimental



Nota. Se observa la disposición de las bolsas de germinación en un diseño factorial completamente al azar, donde cada combinación de tratamiento pregerminativo y sustrato fue replicada tres veces. La etiquetación permitió el seguimiento preciso de cada grupo experimental.

Apéndice H

Germinación Exitosa de Juglans Neotropica



Nota. Emergencia de la radícula a través del endocarpio en una semilla del tratamiento T4 (escarificación mecánica y hormonas).

Apéndice I

Emergencia y Establecimiento de la Plántula



Nota. Se observa el hipocótilo en forma de “gancho” emergiendo del sustrato, arrastrando consigo las primeras hojas verdaderas.

Apéndice J

Plántula Cedro Negro Desarrollada en el Experimento



Nota. Autores del estudio en la fase final del experimento, sosteniendo una plantula de cedro negro desarrollada exitosamente bajo el protocolo de T4 (aplicacion de hormonas de enraizamiento y escarificación mecanica) y sustrato S2 (Mantillo y Cascarilla de arroz).

Apéndice K*Tiempo Medio de Germinación con Todas las Repeticiones*

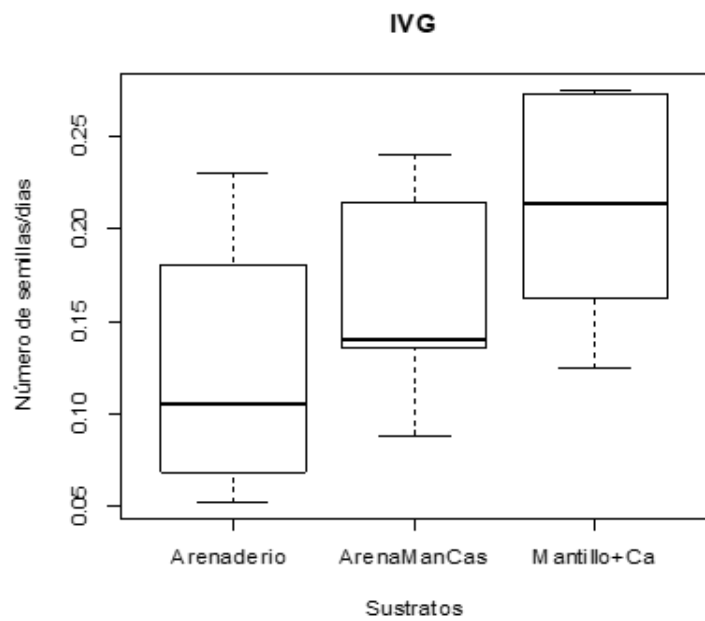
Tratamiento	Sustrato	Repetición	TMG
T4	S1	1	37.5
T4	S1	2	39.2
T4	S1	3	39.0
T4	S2	1	36.6
T4	S2	2	36.5
T4	S2	3	37.0
T4	S3	1	37.6
T4	S3	2	37.4
T4	S3	3	36.8
T5	S1	1	57.2
T5	S1	2	57.3
T5	S1	3	58.3
T5	S2	1	56.0
T5	S2	2	54.6
T5	S2	3	55.6
T5	S3	1	57.3
T5	S3	2	56.6
T5	S3	3	49.3

Apéndice L*Índice de Velocidad de Germinación con Todas las Repeticiones*

Tratamiento	Sustrato	Repetición	IVG
T4	S1	1	0.11
T4	S1	2	0.23
T4	S1	3	0.18
T4	S2	1	0.27
T4	S2	2	0.27
T4	S2	3	0.24
T4	S3	1	0.24
T4	S3	2	0.21
T4	S3	3	0.14
T5	S1	1	0.11
T5	S1	2	0.05
T5	S1	3	0.07
T5	S2	1	0.13
T5	S2	2	0.18
T5	S2	3	0.16
T5	S3	1	0.14
T5	S3	2	0.09
T5	S3	3	0.14

Apéndice M

Índice de Velocidad de Germinación (IVG) en Función de los Sustratos



Apéndice N

Índice de Velocidad de Germinación (IVG) en Función de los Tratamientos

