

EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS PREGERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *Morella*
pubescens Y *Myrsine guianensis*

LAURA CEPEDA PINILLA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título en
Biología Aplicada

Directora

SANDRA PATRICIA PULIDO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

BIOLOGÍA APLICADA

Cajicá, Cundinamarca

2025

Índice

Resumen	3
Introducción.....	5
Materiales y Métodos	11
Lugar de estudio	11
Especies de estudio	11
• <i>Morella pubescens</i>	11
• <i>Myrsine guianensis</i>	12
Material biológico.....	15
Determinación de la viabilidad de las semillas mediante el ensayo topográfico con cloruro de tetrazolio	16
Tratamientos pregerminativos	17
Tratamientos pregerminativos aplicados en <i>M. pubescens</i>	17
Tratamientos pregerminativos aplicados en <i>M. guianensis</i>	18
Diseño del experimento	19
Variables evaluadas y análisis de resultados	20
Resultados	21
Viabilidad de semillas	23
• <i>M. pubescens</i>	23
• <i>M. guianensis</i>	25
Tratamientos pregerminativos	26
Variables de germinación	28
• <i>M. pubescens</i>	28
• <i>M. guianensis</i>	30
Discusión	35
Relación entre viabilidad de semillas y porcentajes de germinación.....	35
Tratamientos pregerminativos y variables de germinación	37
Relacion entre ambientes y tasas de germinación de semillas	41
Conclusiones y recomendaciones	44
Referencias	45

Evaluación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Morella pubescens* y *Myrsine guianensis*

Cepeda, L

1 estudiante de pregrado de Biología Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia, est.laura.cepeda1@unimilitar.edu.co

Resumen

La propagación de *Morella pubescens* y *Myrsine guianensis*, especies con gran potencial para la restauración ecológica en la región andina, se ve limitada por la dormancia de sus semillas y la falta de protocolos de propagación eficientes. El presente estudio se desarrolló en Cajicá, Cundinamarca y evaluó la efectividad de diversos tratamientos pregerminativos en ambas especies bajo condiciones controladas (incubadora: 25°C, oscuridad) y fluctuantes (invernadero: luz, temperatura y humedad variables) con el objetivo de determinar el tratamiento más eficiente para acelerar y uniformizar la germinación. Los tratamientos para *Morella pubescens* incluyeron escarificación mecánica con cortaúñas, estratificación en frío y tratamientos químicos con ácido giberélico y peróxido de hidrógeno. Para *Myrsine guianensis*, se evaluaron escarificación en agua caliente, estratificación en frío y los mismos tratamientos químicos que para *M. pubescens*; el diseño experimental fue completamente al azar y consistió en cinco tratamientos incluido el testigo, con seis repeticiones y cada unidad experimental conformada por 50 semillas. Se evaluaron variables de germinación como el porcentaje de germinación, la velocidad de germinación, la germinación diaria media y el tiempo medio de germinación. Los resultados indican que la escarificación mecánica optimizó la germinación de *M. pubescens* en condiciones de invernadero, mientras que el peróxido de hidrógeno fue el tratamiento más efectivo para *M. guianensis* en condiciones controladas. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar tratamientos pregerminativos específicos para cada especie y considerar las condiciones ambientales al momento de establecer protocolos de propagación.

Palabras clave: Restauración, Dormancia, Tratamientos pregerminativos, Germinación

Abstract

The propagation of *Morella pubescens* and *Myrsine guianensis*, species with great potential for ecological restoration in the Andean region, is limited by seed dormancy and the lack of efficient propagation protocols. This study, conducted in Cajicá, Cundinamarca, evaluated the effectiveness

of various pre-germination treatments on both species under controlled (incubator: 25°C, darkness) and fluctuating (greenhouse: light, temperature, and humidity variations) conditions, with the aim of determining the most efficient treatment to accelerate and uniformize germination. Treatments for *Morella pubescens* included mechanical scarification with nail clippers, cold stratification, and chemical treatments with gibberellic acid and hydrogen peroxide. For *Myrsine guianensis*, hot water scarification, cold stratification, and the same chemical treatments as *M. pubescens* were evaluated; The experimental design was completely randomized and consisted of five treatments including the control, with six replications and each experimental unit composed of 50 seeds. Germination variables such as germination percentage, germination rate, mean daily germination, and mean germination time were evaluated. The results indicate that mechanical scarification optimized the germination of *M. pubescens* under greenhouse conditions, while hydrogen peroxide was the most effective treatment for *M. guianensis* under controlled conditions. These findings highlight the importance of selecting specific pre-germination treatments for each species and considering environmental conditions when establishing propagation protocols.

Key words: Restoration, Dormancy, Pregerminative treatments, Germination

Introducción

Los bosques cumplen funciones importantes en nuestro planeta, ya que proporcionan beneficios ecológicos, económicos y sociales a nivel local y global, son esenciales para la salud del planeta y la sociedad, contribuyen a capturar carbono, conservar la biodiversidad, regular el ciclo del agua y la calidad del aire. Además, proporcionan recursos, ofrecen hábitats para muchas especies, oportunidades de recreación y protección contra desastres naturales (Primack & Kang, 1989; Marin, 2018).

La deforestación en Colombia representa una de las mayores amenazas para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos del país. La pérdida acelerada de bosques tropicales ha generado una preocupante disminución de la cobertura vegetal, con impactos significativos en el clima, la calidad del agua y la habitabilidad de diversas especies (González et al., 2018; CAR, 2016).

Según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2022), Colombia experimentó una tasa de deforestación alarmante en años anteriores. Sin embargo, gracias a la implementación de políticas públicas enfocadas en la conservación y restauración de los bosques, se han logrado avances significativos. En 2022, se reportó una reducción del 29.1% en la tasa de deforestación en comparación con el año anterior. (Acuña, 2006; Armenteras et al., 2018).

A pesar de estos avances, la situación sigue siendo crítica. A nivel global, Colombia se encuentra entre los seis países con mayores pérdidas forestales, según la Revisión Forestal Global del Instituto de Recursos Mundiales. En 2024, el país perdió 128.000 hectáreas de bosque, una cifra que, aunque representa una reducción con respecto a años anteriores, sigue siendo alarmante.

La región amazónica ha sido tradicionalmente la más afectada por la deforestación en Colombia. Sin embargo, un reciente boletín del IDEAM (2024) ha evidenciado el creciente impacto de este fenómeno en la región Andina, que históricamente también ha sido vulnerable a la deforestación por la creciente presión de la expansión de la frontera agrícola, la urbanización y la construcción de infraestructura vial las cuales contribuyeron a la pérdida de bosques en esta región (García, 2012).

Según el IDEAM, el 13% de la deforestación total del país se concentra actualmente en la región Andina, lo que subraya la necesidad urgente de intensificar las acciones de conservación en esta área. Es importante destacar que la dinámica de la deforestación en Colombia está influenciada por diversos factores, como la expansión de la frontera agrícola, la minería ilegal, los conflictos armados y los eventos climáticos extremos (Acuña, 2006; Armenteras et al., 2018).

Para abordar el desafío de la deforestación, se han implementado diversas estrategias enfocadas en disminuir, mitigar y restaurar los ecosistemas afectados. Incluyendo el manejo sostenible de los bosques, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles, el fortalecimiento de las políticas ambientales y entre las que destaca la restauración ecológica (Prado et al., 2018). Esta práctica, que implica la reforestación, la reintroducción de vegetación nativa y la restauración ecológica. En el nivel más general, la reforestación se refiere a la plantación de árboles en áreas deforestadas o degradadas. Esta acción busca aumentar la cobertura forestal y recuperar los beneficios ecológicos básicos de los bosques, como la captura de carbono, la regulación del clima y la protección del suelo (Marin, 2018).

Seguidamente, la reintroducción de vegetación nativa, abarca un enfoque más amplio que incluye la reintroducción de diversas formas de vegetación, no solo árboles, sino también arbustos, pastos y otras especies vegetales. Este enfoque busca restaurar la estructura y función del ecosistema, promoviendo la interacción entre las diferentes especies y mejorando la calidad del suelo y del agua (Marin, 2018). La restauración ecológica, como disciplina integral, se posiciona en el nivel más específico y ambicioso. Busca reconstruir ecosistemas completos, incluyendo no solo la cobertura vegetal, sino también la recuperación de los procesos ecológicos, la interacción entre especies y la estructura del paisaje. Estas prácticas apuntan a lograr una recuperación a largo plazo y sostenible, preservando la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que los bosques brindan (Chamba et al., 2020; Vargas, 2011).

En un esquema de recuperación ambiental, los viveros, en su rol de centros especializados en la producción y propagación vegetal, se constituyen como elementos esenciales en las estrategias enfocadas en la recuperación de los ecosistemas afectados por la deforestación. Estos espacios controlados permiten el cultivo y preparación de árboles, arbustos y otras especies nativas, garantizando su calidad genética, controlando su sanidad y brindándoles las condiciones óptimas para su desarrollo inicial (Torres et al., 2017). La producción en viveros ofrece ventajas como la selección de especies con una mayor tasa de supervivencia y el éxito en su establecimiento en el

terreno definitivo, la minimización de riesgos sanitarios y la optimización de recursos. Además de su función productiva, los viveros sirven como espacios de conocimiento y educación ambiental, promoviendo la investigación, la capacitación y la conciencia sobre la conservación de los ecosistemas (Torres et al., 2017; Vargas, 2011).

La propagación vegetal, entendida como el conjunto de técnicas que permiten obtener nuevas plantas a partir de una planta madre, se convierte en un arte fundamental para la conservación de la biodiversidad, la restauración de ecosistemas y la producción agrícola, siendo la propagación por semillas, una de las técnicas más antiguas y naturales, que, se basa en la germinación de una semilla que contiene un embrión y nutrientes para su desarrollo inicial (Vargas, 2011). Este método es eficiente para la reforestación y restauración de ecosistemas degradados, ya que las plantas obtenidas tienen mayor variabilidad genética, lo que les permite adaptarse a condiciones cambiantes y sobrevivir a largo plazo. Además, la propagación por semillas es especialmente rentable cuando se requieren grandes cantidades de plantas (Mitchell, 2018; Vargas, 2011).

No obstante, la propagación por semilla presenta algunos desafíos durante la germinación. Esta fase, definida como la reanudación del crecimiento embrionario y el desarrollo de la radícula y el tallo a partir de una semilla en reposo, marca el inicio de la vida de una nueva planta. Sin embargo, este proceso no siempre es inmediato, ya que algunas semillas pueden permanecer en un estado de dormancia, un mecanismo de supervivencia que retrasa la germinación hasta que se cumplan las condiciones ambientales adecuadas (Bewley, 2013). La dormancia puede ser impuesta por la cubierta de la semilla, el estado del embrión, la presencia o ausencia de inhibidores y promotores de germinación, la madurez y la viabilidad (Kołodziejek, 2017). También por factores externos como la temperatura, la luz o la disponibilidad de agua, o una combinación de estos factores (Prado et al. 2018; De la Cuadra 1993). En consecuencia, superar este estado de reposo requiere de la exposición a estímulos específicos, como cambios de luz, temperatura y humedad (Guterman, 2000), lo que desencadena la activación de las vías hormonales y metabólicas que conducen a la germinación. Razón por la cual se emplean diversos tratamientos para superar la dormancia de las semillas, como son la escarificación o la estratificación, sin embargo, no todos son igualmente eficaces para todas las especies, por lo que es fundamental seleccionar el más adecuado en cada caso (Viveros et al., 2015).

Los tratamientos pregerminativos son técnicas aplicadas a las semillas para modificar su capacidad de germinar y superar los mecanismos que las mantienen en estado latente o dormante. Estos tratamientos son fundamentales para mejorar la eficiencia en la germinación, lo que resulta en un crecimiento más rápido y uniforme de las plántulas. Además, contribuyen a aumentar la tasa de germinación, un aspecto crucial especialmente en la producción de cultivos y plantas de vivero, ya que permite a los productores obtener plántulas en un menor tiempo. Esto, a su vez, optimiza el uso de semillas e insumos, lo que se traduce en un ahorro significativo de costos de producción (Baskin, 2014; Viveros et al., 2015).

Existen varios tipos de tratamientos pregerminativos, cada uno con un enfoque específico según las necesidades de las semillas y las condiciones en las que se deseen cultivar. Estos tratamientos se pueden clasificar principalmente en físicos, químicos y biológicos, y cada uno tiene objetivos y métodos de aplicación distintos que permiten superar la dormancia y favorecer la germinación (Varela & Arana, 2010).

Los tratamientos físicos son aquellos que alteran las propiedades físicas de la semilla, como su estructura o permeabilidad. Estos tratamientos buscan hacer que la semilla sea más receptiva a las condiciones ambientales que favorecen la germinación, como la humedad, la temperatura y el oxígeno (De la Cuadra 1993). Uno de los tratamientos físicos más comunes es el estratificado, que consiste en someter a las semillas a condiciones de frío o calor durante un período determinado para romper la dormancia, un proceso que simula las condiciones naturales a las que las semillas estarían expuestas en su hábitat original. La estratificación en frío es particularmente útil para semillas de especies que requieren temperaturas bajas para germinar, como algunas plantas forestales y hortícolas (FAO, s.f.).

Otro tratamiento físico es la escarificación, que implica la alteración del tegumento o la capa exterior de la semilla para permitir la penetración de agua y aire. Esto puede hacerse mediante fricción, corte o abrasión (Varela & Arana, 2010). La escarificación es particularmente eficaz para semillas con cubiertas duras, como las de muchas leguminosas y plantas lechosas, que de otro modo no germinarían debido a la impermeabilidad de su envoltura (FAO, s.f.).

Los tratamientos químicos por otra parte, se enfocan en el uso de sustancias que afectan la semilla, eliminando inhibidores naturales de la germinación o estimulando procesos fisiológicos dentro de la semilla que favorece la germinación (Varela & Arana, 2010). Un tratamiento común es el uso de ácidos, como el ácido sulfúrico, que se aplica para disolver o desgastar la capa externa de la semilla, facilitando la absorción de agua. Este proceso es útil para semillas con capas duras, como las de especies tropicales y algunos árboles frutales (FAO, s.f.).

Así mismo, los reguladores de crecimiento, como las auxinas o giberelinas, se pueden utilizar para inducir la germinación de semillas que presentan una dormancia fisiológica, es decir, una dormancia relacionada con el proceso interno de la semilla (Varela & Arana, 2010). Las giberelinas, por ejemplo, son hormonas vegetales que pueden ser aplicadas a semillas para promover la elongación celular y la ruptura de los mecanismos de dormancia. Estos tratamientos químicos son particularmente beneficiosos en la producción de cultivos hortícolas y algunas especies forestales que requieren condiciones especiales para su germinación (De la Cuadra 1993).

Finalmente, los tratamientos biológicos son aquellos que emplean organismos vivos o sus productos para estimular la germinación de las semillas. Estos tratamientos pueden incluir el uso de microorganismos beneficiosos, como bacterias u hongos, que interactúan con las semillas para mejorar su capacidad de germinación (De la Cuadra 1993). Un ejemplo de tratamiento biológico es la inoculación con rizobacterias, que son bacterias que colonizan las raíces de las plantas y mejoran su absorción de nutrientes y resistencia a enfermedades. Al aplicar estas bacterias a las semillas antes de la siembra, se puede mejorar el rendimiento de germinación y el desarrollo de las plántulas (Varela & Arana, 2010).

Otra técnica biológica es el uso de compost o extractos vegetales que, al descomponerse, liberan nutrientes y fitohormonas que estimulan la germinación. Este enfoque, al ser más natural y sostenible, es cada vez más popular en la agricultura orgánica y en la producción de semillas de plantas medicinales o nativas (FAO, s.f.).

Las especies *Morella pubescens* y *Myrsine guanensis* son dos especies importantes en los planes de recuperación de ecosistemas afectados por la deforestación en Colombia, ya que son árboles nativos de los bosques tropicales y subtropicales de América del Sur, que tienen una amplia distribución en las regiones Andina y Pacífica del país. Además, estas especies poseen

características ecológicas y silvícolas que les confiere gran adaptabilidad a una amplia gama de condiciones ambientales, incluyendo suelos pobres en nutrientes, sequías y altitudes elevadas, resultando en alternativas favorables para proyectos de restauración ecológica en áreas degradadas,

Resultan entonces especies versátiles, con crecimiento relativamente rápido, lo que permite una rápida cobertura del suelo y la creación de un microclima favorable para el desarrollo de otras especies, como, por ejemplo, el establecimiento de algunas especies de flora epífita las cuales usan ese nicho como hábitat temporal (González et al., 2018). También, producen frutos carnosos que son consumidos por una gran variedad de aves y mamíferos que contribuyen a su dispersión y, por tanto, a la regeneración natural del bosque y a la restauración de la conectividad ecológica entre diferentes áreas (Nieto, 2017; Muñoz et al., 2004). Así mismo son especies rústicas con alta tolerancia a condiciones de estrés biótico y abiótico que favorece su uso y manejo en vivero.

Adicionalmente a su importancia ecológica, *M. pubescens* y *M. guianensis* poseen potencial económico. La madera de estas especies es moderadamente dura y densa, siendo empleada en la industria de muebles finos, ebanistería, construcción, y extracción de aceites esenciales (Muñoz et al., 2004; Corella et al., 1997). De igual manera, son apreciadas por su valor ornamental y su uso en la medicina tradicional, por lo que algunas comunidades utilizan partes de la planta con fines medicinales o como fuente de alimento (Muñoz et al. 2004)

Sin embargo, su propagación presenta diversos desafíos que deben ser superados para garantizar el éxito de los proyectos de restauración. La dormancia de las semillas, la tasa de germinación variable, el crecimiento inicial lento, y la limitada disponibilidad de semillas obstaculizan la obtención de un número suficiente de plántulas vigorosas para la producción a gran escala (Lara, 2022). Adicionalmente, el conocimiento técnico sobre la propagación de estas especies aún es limitado, lo cual, requiere de investigaciones para optimizar la germinación, el crecimiento inicial y el manejo en viveros. Por lo anterior, se plantea esta investigación con el propósito de evaluar cinco tratamientos pre-germinativos en semillas de *M. pubescens* y *M. guianensis* bajo dos condiciones ambientales con la finalidad de determinar el tratamiento y/o combinación más eficiente.

Materiales y Métodos

Lugar de estudio

El presente proyecto se realizó en los laboratorios e invernaderos de la Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas de la Universidad Militar Nueva Granada, ubicada en el municipio de Cajicá (Cundinamarca) con coordenadas geográficas: 4°56'24"N y 4°57'0"N Latitud; 74°1'12"W y 74°0'36"W Longitud

Especies de estudio

- *Morella pubescens*

Distribución y características:

Morella pubescens, conocido como laurel de cera, es un árbol perteneciente a la familia Myricaceae que se extiende desde Costa Rica hasta Bolivia, habitando altitudes entre 1.500 y 3.900 msnm (Castro & Ayala, 2011). En Colombia, su presencia se registra en 20 departamentos de la región Andina. Este árbol alcanza alturas de 8 a 16 metros, con una copa que puede llegar a medir 7 metros de diámetro. Su tronco presenta un grosor de hasta 20 cm y sus hojas, simples y alternas, exhiben una forma elíptica con tricomas en el haz y pubescencia en el envés. Las flores, de pequeño tamaño e inconspicuas, dan lugar a frutos en drupa cubiertos por una capa de cera. Tanto las hojas como los frutos desprenden un aroma agradable (Castro & Ayala, 2011). Un rasgo distintivo de esta especie es la presencia de nódulos radiculares en sus raíces, los cuales permiten la fijación de nitrógeno, convirtiéndola en una opción valiosa para la restauración de suelos degradados (Gallardo, 1993).

Hábitat y tolerancia:

Esta especie prospera en regiones de clima templado o frío, con temperatura promedio entre 12°C y 18°C, y precipitación anual entre 500 y 2.000 mm. Adicionalmente, muestra una notable resistencia a las heladas y los vientos fuertes, y requiere plana exposición solar para su correcto desarrollo (Hoyos & Cabrera, 1999). En cuanto al suelo, prefiere terrenos arcillo-arenosos, aunque se adapta a una amplia variedad de tipos de suelo y rangos de fertilidad. Tolera un amplio rango de

pH, lo cual la hace una especie adaptable a diversas condiciones edáficas (Hoyos & Cabrera, 1999; Trejos, 1960)

Reproducción y dispersión:

La reproducción de *M. pubescens* se realiza mediante semillas que se encuentran en el interior del fruto. Estas semillas, de color marrón, textura rugosa y consistencia dura, presentan un tamaño aproximado de 2,5 x 2,0 mm, que alcanzan un número promedio de semillas por kilogramo de 100.000 (Hoyos & Cabrera, 1999). La dispersión de las semillas la realizan principalmente aves que se alimentan de los frutos y depositan las semillas con sus excretas, dando lugar a la formación de grupos de árboles de tamaño variable en el lugar donde caen las semillas (García, 2021).

Usos y beneficios:

Por otra parte, *M. pubescens* ofrece una gama de usos y beneficios tanto para el ambiente como para las comunidades locales. En el ámbito medicinal, sus hojas, tallos y raíces se emplean tradicionalmente para el tratamiento de enfermedades nerviosas, laringitis aguda, ictericia, hemorragia uterina, leucorrea y diarreas, sin embargo, es importante mencionar que el consumo en grandes dosis puede provocar vómitos (Muñoz et al., 2004). La cera extraída de sus frutos encuentra aplicaciones industriales en la fabricación de panela, velas, betún, esmaltes, jabones y fundición de bronce. Incluso, esta cera se exporta a los Estados Unidos (Castillo & Santacruz, 2009; Muñoz et al., 2004). Su madera también tiene valor, siendo utilizada para la elaboración de cabos de herramientas y como combustible.

Importancia ecológica:

La capacidad de *M. pubescens* en ecosistemas degradados, aportando así beneficios ambientales significativos. Su capacidad de resistir a condiciones climáticas adversas lo cual le permite prosperar en áreas degradadas o con condiciones ambientales desafiantes (Gallardo, 1993).

- ***Myrsine guianensis***

Descripción y distribución:

Myrsine guianensis, conocido como cucharo, es un árbol perteneciente a la familia Primulaceae, de mediana altura, alcanzando hasta 14 metros de altura y 20 cm de diámetro (Toro, 2012). Presenta un tronco liso, grisáceo y con lenticelas, una copa densa de forma cónica o globosa con follaje verde oscuro, y ramas delgadas teretes que se tornan castaño al madurar (León & Varón, 1997). Las hojas son oblongo-elípticas, de color verde oscuro brillante por el haz y verde claro opaco por el envés, con puntos glandulares diminutos en ambas caras. Sus flores son pequeñas y de color amarillo-verdoso, dispuestas en grupos a lo largo de las ramas. Los frutos son drupas esféricas que miden hasta 5 mm de diámetro, de color negro brillante al madurar, y en su interior presentan una semilla dura y opaca de hasta 2 mm de diámetro (CAR, 2004) Su distribución abarca desde el sur de Estados Unidos hasta Brasil y el norte de Argentina, incluyendo las Antillas (Luna et al., 2022). En Colombia, está presente en todos los pisos térmicos, desde el nivel del mar hasta los 3300 msnm. También se ha registrado en Costa Rica, Panamá, Venezuela, Ecuador y Perú, en altitudes que van desde los 900 hasta los 3200 msnm (Florez et al., 2011)

Hábitat y tolerancia:

Esta especie habita entre los 0 y 3100 msnm en diversos tipos de bosque, incluyendo bosque húmedo tropical, premontano y seco montano (CAR, 2004). Tolerancia suelos degradados y de baja humedad, lo que lo convierte en una especie útil para la restauración ecológica (Calle, 2003; Romero, 2005; Benavides et al., 2015). Prospera en climas tropicales y templados, desde las zonas de baja altitud en los bosques subandinos hasta las zonas cercanas al páramo (3300 msnm) (Bernal et al., 2015)

Reproducción y dispersión:

M. guianensis se propaga a partir de semillas colectadas de árboles fuente (Meneses, 2018). Los frutos carnosos requieren de un proceso de despulpado para extraer las semillas (Trujillo, 2001). La viabilidad de las semillas, es decir, su capacidad para germinar y producir plantas saludables, puede variar ampliamente debido a factores como la genética, el almacenamiento y las condiciones ambientales. Por esta razón, es fundamental seleccionar fuentes semilleras de calidad

para garantizar el éxito de la siembra (Salazar, 2010; Flores et al., 2011; Meneses, 2018). Las aves son sus principales dispersores de semillas (Villalba et al., 2021)

Usos y beneficios:

Por otra parte, *M. guianensis* es un árbol con múltiples aplicaciones que lo convierten en una especie de gran valor ecológico y económico. Su madera, de color naranja claro, textura gruesa y grano oblicuo, es utilizada en la construcción rural, especialmente para vigas, columnas y postes. Además, es una fuente importante de leña para los hogares y la agroindustria rural (Grande & Polanco, 2007; Ordoñez et al., 2017; Coronado & Prato, 2019). Su capacidad de adaptación a diversos suelos y su asociación simbiótica con hongos endófitos, que mejoran la calidad del suelo y promueven el crecimiento vegetal, la convierte en una especie clave para la restauración de áreas degradadas y los sistemas agroforestales, donde se puede emplear como cerca viva y para mejorar las condiciones del suelo (Calle, 2003; Romero, 2005; Benavides et al, 2015).

Su belleza y resistencia al ataque de insectos xilófagos lo hacen atractivo para su uso ornamental (León & Varón, 1997), mientras que su producción de polen durante seis meses del año lo convierte en una fuente importante de alimento para las abejas (Silva & Restrepo, 2012). De la corteza del cucharo se han aislado moléculas con actividad antimicrobiana, antipalúdica e insecticida, y el extracto de sus hojas ha sido evaluado para inhibir la acción del veneno de serpientes del género *Bothrops* (Reguero et al, 1989; Oliveira et al, 2019).

Importancia ecológica:

M. guianensis juega un papel importante en la conservación de los ecosistemas forestales y en la regulación del ciclo hidrológico (Calle, 2003; Romero, 2005; Benavides et al, 2015). Se caracteriza por su rápido crecimiento y su capacidad para prosperar en condiciones adversas, como suelos de baja humedad y erosionados. Esta notable capacidad de adaptación se debe en parte a la consistencia dura de sus hojas, una característica que les permite minimizar la pérdida de agua por transpiración, lo que les otorga una gran resistencia a los periodos de sequía que lo convierte en una especie valiosa para la restauración ecológica (Calle, 2003; Romero, 2005; Benavides et al, 2015). Es una fuente de alimento para las aves y otros animales silvestres los cuales se encargan

de dispersar las semillas y contribuir a la regeneración natural del bosque y a la restauración de la conectividad ecológica entre diferentes áreas (Bauer et al 2012, Castillo & Calderón 2017).

Material biológico

Para llevar a cabo esta investigación, se adquirieron semillas de la empresa Geoambiente, dedicada a la comercialización de semillas para producción agroforestal. La elección de Geoambiente se basó en su cumplimiento con los registros del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para la producción, distribución, exportación e importación de semillas, lo que garantiza la calidad y origen del material biológico.

Una primera actividad durante la evaluación consistió en la caracterización de algunos atributos de calidad de las semillas, pues los datos obtenidos sirvieron como referencia para garantizar la confiabilidad de los resultados en los posteriores ensayos de germinación., para esto se seleccionaron muestras de semillas de *M. pubescens* y *M. guianensis*. Para cada especie, se tomaron tres submuestras de 10 gramos, las cuales se clasificaron visualmente en tres categorías según su tamaño: pequeñas, medianas y grandes. Adicionalmente mediante la observación en el estereoscopio, se realizó una evaluación detallada de las características morfológicas de cada semilla, incluyendo forma, tamaño, textura y color.

Para evaluar la pureza de las muestras, se procedió a separar manualmente las semillas de las impurezas presentes, tales como fragmentos de ramas, hojas y frutos. Este proceso se realizó con el fin de determinar el porcentaje de semillas sanas y libres de contaminantes en cada muestra. Una vez separadas las semillas de las impurezas, se pesó cada fracción por separado y a partir de los datos obtenidos, se calculó el porcentaje de pureza de cada muestra utilizando la siguiente ecuación:

$$CP = \frac{P_m - P_i}{P_m} * 100 \text{ donde,}$$

CP: Coeficiente de pureza

P_m: Peso o número de la muestra

P_i: Peso o número de las impurezas

Determinación de la viabilidad de las semillas mediante el ensayo topográfico con cloruro de tetrazolio

Con el objetivo de determinar la viabilidad de las semillas, se llevó a cabo la evaluación mediante el ensayo topográfico con cloruro de tetrazolio. En este procedimiento, se seleccionaron seis muestras de 20 semillas cada una, totalizando 120 semillas por especie. Como pre tratamiento, para la especie *M. pubescens*, debido a la presencia y dureza del endocarpo, se realizó un corte apical utilizando cortaúñas con el fin de exponer la semilla. En el caso de *M. guianensis*, las semillas se dejaron en imbibición en agua durante 24 horas y posteriormente se efectuó un corte longitudinal con bisturí para exponer el embrión.

Posteriormente, se procedió a sumergir las semillas en una solución estéril al 1% de cloruro de 2, 3,5-trifenil-2H-tetrazolio (TTC) (Salazar & Botello, 2018). Con el objetivo de asegurar un contacto óptimo entre los tejidos de la semilla y la solución, se emplearon diferentes métodos para cada especie. Para *M. guianensis*, se realizó un corte longitudinal y se colocó la semilla con la superficie expuesta en contacto directo con la solución dispuesta en cajas Petri de 100 x 15 mm. Sin embargo, debido a la forma irregular de los cortes realizados en semillas de *M. pubescens*, se optó por incubarlas en tubos de ensayo para garantizar una mayor superficie de contacto con el reactivo. Estas muestras se cubrieron con 3 ml de la solución de TTC. Posteriormente, se incubaron a una temperatura de 25°C en condiciones de oscuridad durante 24 horas (Salazar & Botello, 2018). Transcurrido el tiempo de incubación, se lavaron las semillas con agua destilada estéril y se observaron bajo un estereoscopio para evaluar su viabilidad.

La viabilidad se identificó a partir de la coloración del embrión. Las semillas viables poseen enzimas respiratorias activas que reducen el cloruro de tetrazolio incoloro a formazán, un compuesto de color rojo insoluble. Este cambio de color se produce en los tejidos vivos de la semilla, especialmente en el embrión, indicando actividad metabólica y, por lo tanto, viabilidad. La intensidad y extensión de la coloración roja obtenida fueron utilizadas como indicadores de la viabilidad de las semillas. Se consideró viable una semilla cuando al menos el 50% del embrión mostraba una coloración roja intensa (Salazar & Botello, 2018; Salazar et al., 2020). Por el contrario, una coloración rosa pálida o la ausencia total de coloración indicaban baja viabilidad o

muerte del embrión, respectivamente. El porcentaje de viabilidad se calculó dividiendo el número de semillas viables en cada repetición por el número total de semillas analizadas por especie.

Tratamientos pregerminativos

Con el objetivo de optimizar la germinación de las semillas forestales, se realizó una revisión de fuentes de información especializadas en este campo. Se consultaron estudios previos sobre las especies seleccionadas, priorizando aquellos que reportaron altos porcentajes de germinación.

A partir de esta revisión bibliográfica, se definieron cinco tratamientos para cada especie. Es importante destacar que algunos tratamientos requirieron modificaciones en función de las características específicas de las semillas utilizadas como por ejemplo su tegumento seminal

Tabla 1.

Tratamientos pregerminativos aplicados en *M. pubescens*

Tipo de tratamiento	Modo de aplicación	Literatura consultada
Control (T0)	Sumergir semillas en agua caliente a 100°C durante 40 minutos, repetir este proceso con agua a 80°C y 60°C, respectivamente y finalmente dejar en imbibición hasta enfriar a temperatura ambiente durante 24 horas	
Escarificación química (T1)	Inmersión de semillas en una solución de peróxido de hidrógeno al 3% durante 24 horas con agitación constante, posteriormente, lavar con agua destilada durante 5 minutos	Castro y Ayala 2011
Hormonas vegetales (T2)	Inmersión de semillas en ácido giberélico a 100ppm durante 24 horas, con agitación constante, posteriormente lavar con abundante agua destilada	Castro y Ayala 2011

Escarificación física (T3)	Realizar un corte en la parte apical del epispermo de la semilla, sin dañar el embrión utilizando un cortaúñas, y dejar en inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas	Castro y Ayala 2011; Sánchez et al 2001; Hernández 2021
Congelamiento (T4)	Colocar semillas en arena húmeda y llevar al congelador durante 48 horas, posteriormente secar las semillas exponiéndolas a luz directa en el invernadero	Crespo & Inga 2017

Tabla 2.

Tratamientos pregerminativos aplicados en *M. guianensis*

Tipo de tratamiento	Modo de aplicación	Literatura consultada
Control (T0)	Inmersión de semillas en agua a temperatura ambiente durante 24 horas	
Estratificación en agua caliente (T1)	Inmersión semillas en agua a una temperatura de 45°C dejar en imbibición por 24 horas, hasta que el agua pase a temperatura ambiente.	Sánchez et al 2001; Hernández 2021
Escarificación química (T2)	Inmersión de semillas en peróxido de hidrogeno al 3% durante 24 horas con agitación constante, y luego lavar con agua destilada durante 5 minutos	Castro y Ayala 2011

Hormonas vegetales (T3)	Inmersión de semillas en ácido giberélico a 100ppm durante 24 horas con agitación constante.	Crespo & Inga 2017
Congelamiento (T4)	Colocar semillas en arena húmeda y llevar al congelador durante 24 horas, posteriormente lavar las semillas	Castro y Ayala 2011

Diseño del experimento

Luego de la aplicación de los tratamientos, se procedió a la siembra de las semillas. Se utilizó turba rubia estéril como sustrato, disponiéndola en recipientes plásticos previamente desinfectados. A cada recipiente se agregaron 125 mililitros de sustrato en donde se sembraron las semillas previamente desinfectadas por recipiente.



Figura 3. Siembra de semillas en recipientes plasticos previamente desinfectados.

Se empleó un Diseño Completamente al Azar con un arreglo factorial 2 x 2 x 5 (Melo, 2004), para cada especie (*M. pubescens* y *M. guianensis*), se aplicaron 5 tratamientos, cada uno con 6 repeticiones de 50 semillas, para un total de 300 semillas por tratamiento. Cada tratamiento se evaluó en dos condiciones de ambiente, así: ambiente controlado en laboratorio (oscuridad y temperatura de 25°C) y ambiente de invernadero para un total de 3000 semillas por especie.

Durante todo el tiempo de evaluación (90 días) se registró la temperatura y humedad del ambiente en intervalos de 30 minutos, utilizando un sensor HOBO (U12-O13). A partir de los 15 días post-siembra, se realizaron conteos de semillas germinadas para cada tratamiento. Los conteos se realizaron 3 veces por semana (lunes- miércoles- viernes) durante 90 días. Se consideraron como semillas germinadas aquellas en las que el hipócotilo se encontraba aproximadamente de 4cm de largo sobre la superficie del sustrato como se muestra en la figura 3.

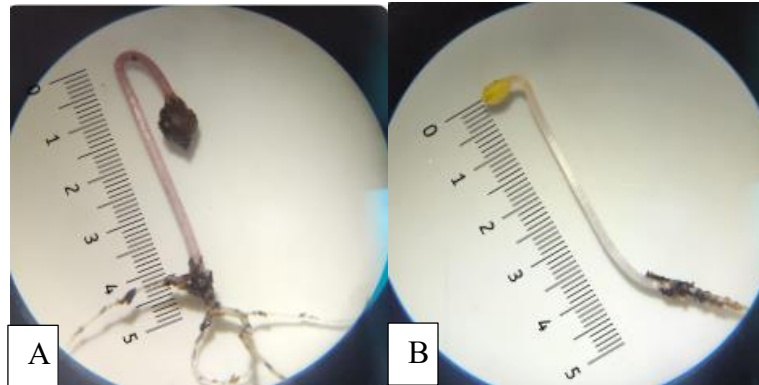


Figura 4. Hipócotilo alargado como indicativo de la germinación de las semillas.
(a).Alargamiento de hicocotilo aproximadamente 4 cm para semilla de *M. guianensis*
(b).Alargamiento de hicocotilo aproximadamente 4 cm para semilla de *M. pubescens*

Variables evaluadas y análisis de resultados

Una vez finalizada la etapa de germinación, se procedió a comparar el efecto de los diferentes tratamientos pregerminativos aplicados a las semillas de cada especie. Para ello, con los datos obtenidos, se calcularon variables para la evaluación de la germinación tales como: porcentaje de germinación, índice de velocidad de germinación, germinación diaria media y tiempo medio de germinación para cada tratamiento y especie de estudio con base a la revisión de literatura.

Tabla 3.

Formulas implementadas para el cálculo de las variables de estudio

Variable	Definición	Formula	Literatura consultada
Porcentaje de germinación (%Germinación)	El porcentaje de germinación es una medida que indica la proporción de semillas de una muestra que son capaces de germinar bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad	$(N^{\circ} \text{ de semillas germinadas} / N^{\circ} \text{ total de semillas sembradas}) \times 100$	Sobrevilla et al., 2013
Índice de velocidad de germinación (IVG)	El Índice de Velocidad de Germinación (IVG) es una medida que permite evaluar la rapidez con la que un lote de semillas germina. Es un indicador importante de la calidad fisiológica de las semillas y su vigor.	$IVG = \sum[n_i / (\sum t_i)]$	Santana & Ranal, 2006
Germinación diaria media (GDM)	La germinación diaria media es un indicador que permite conocer la velocidad a la que las semillas germinan a lo largo de un período de tiempo específico.	$(N^{\circ} \text{ total de semillas germinadas}) / (N^{\circ} \text{ total de días del ensayo})$	Sobrevilla et al., 2013
Tiempo medio de germinación (TMG)	El tiempo medio de germinación indica, en promedio, cuántos días tarda una semilla en germinar.	$TMG = \sum (T_n * N_n) / N$	Sobrevilla et al., 2013

Adicionalmente se llevó a cabo un análisis estadístico que consistió en una prueba de ANOVA RANKEADO para determinar la existencia de diferencias significativas entre los ambientes y los tratamientos. Se elaboraron gráficas representativas para cada variable, permitiendo una mejor comprensión del efecto de los tratamientos pregerminativos y el ambiente sobre la germinación de las especies de estudio.

Resultados

Los resultados de la caracterización mostraron variaciones significativas en el tamaño, forma, color y peso de las semillas entre *M. pubescens* y *Myrsine guianensis*. Además, se determinó

un alto porcentaje de pureza en ambas muestras, lo que indica una buena calidad de las semillas utilizadas en el estudio. Las semillas de *M. pubescens* presentaron un peso promedio de 1.03 gramos para las semillas pequeñas (Figura 1, E), 7.82 gramos para las medianas (Figura 1, B) y 0.64 gramos para las grandes (Figura 1, D), mientras que las semillas de *Myrsine guianensis* pesaron en promedio 0.48 gramos (Figura 2, E), 8.062 gramos (Figura 2, B) y 1.13 gramos (Figura 2, D), respectivamente. Las semillas de *M. pubescens* presentaron una forma ovoide y una textura rugosa, mientras que las de *Myrsine guianensis* eran más esféricas y lisas. En cuanto a la pureza, se encontró un alto porcentaje de semillas sanas en ambas especies, con un 96% para *M. pubescens* y un 94% para *Myrsine guianensis*. Las principales impurezas fueron fragmentos de ramas, hojas y frutos (Figura 1, C y Figura 2, C).

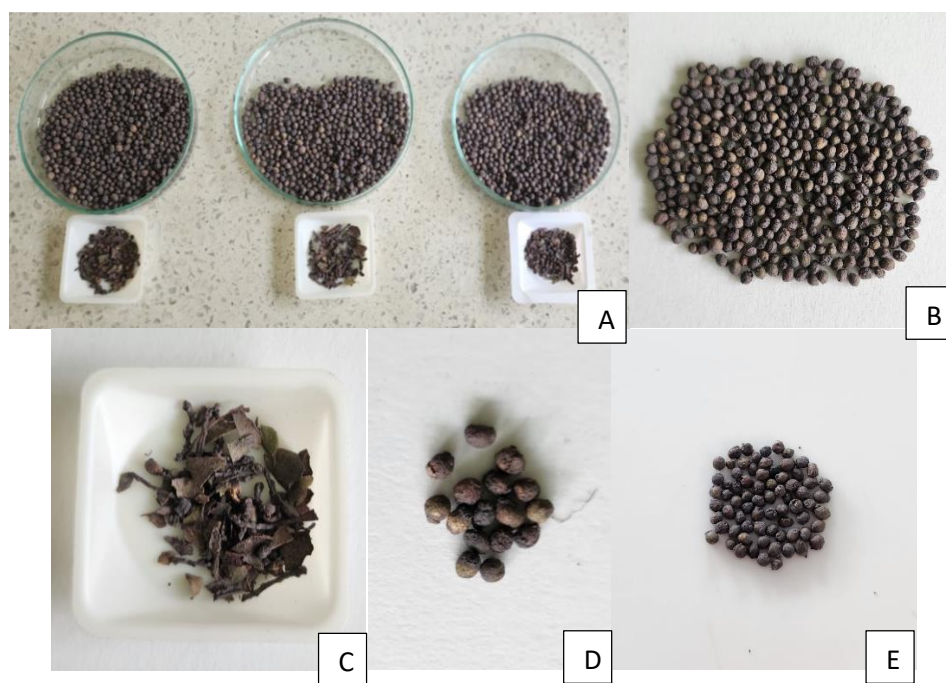


Figura 1. Caracterización de semillas de *Morella pubescens*. (A: Muestras por triplicado de 10 gramos de semillas; B: Semillas de tamaño mediano; C: Impurezas de las muestras de semillas; D: Semillas de tamaño grande; E: Semillas de tamaño pequeño.

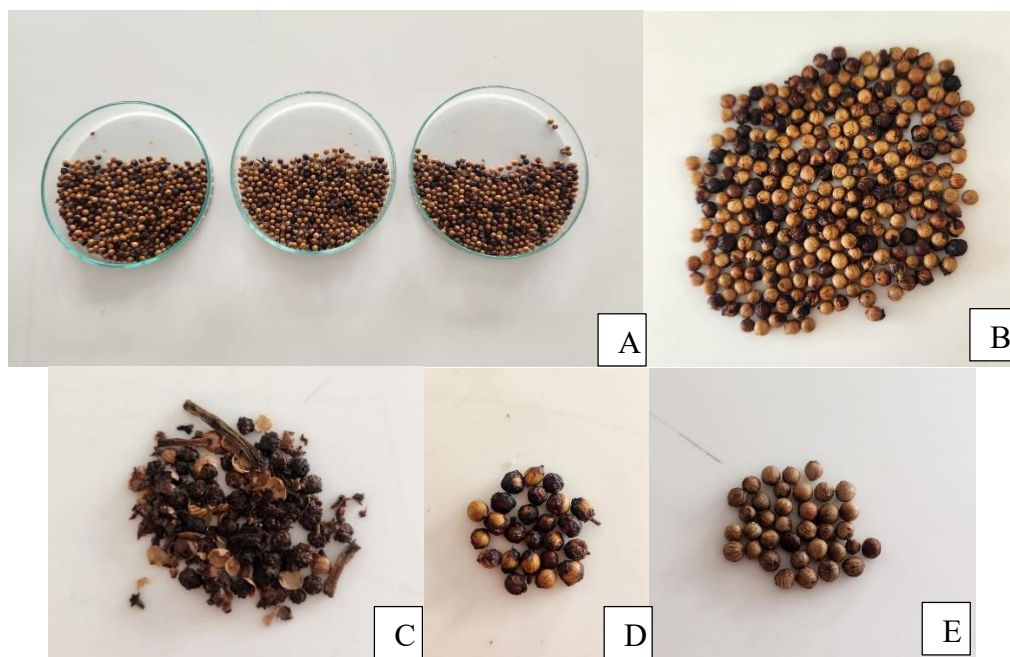


Figura 2. Caracterización de semillas de *Myrsine guianensis*. (A: Muestras por triplicado de 10 gramos de semillas; B: Semillas de tamaño mediano; C: Impurezas de las muestras de semillas; D: Semillas de tamaño grande; E: Semillas de tamaño pequeño.

Viabilidad de semillas

- *M. pubescens*

El análisis de tinción en semillas de *M. pubescens* mostro diferencias notables entre las coloraciones obtenidas. De acuerdo con esto, se clasificó la viabilidad como: embriones viables con tinción roja homogénea (Figura 5, A), viabilidad moderada cuando la tinción fue rojo pálido o con partes descoloridas (Figura 5, B), con baja viabilidad cuando permanecieron con mínima tinción (Figura 5, C) y no viables cuando no hubo tinción (Figura 5,D)

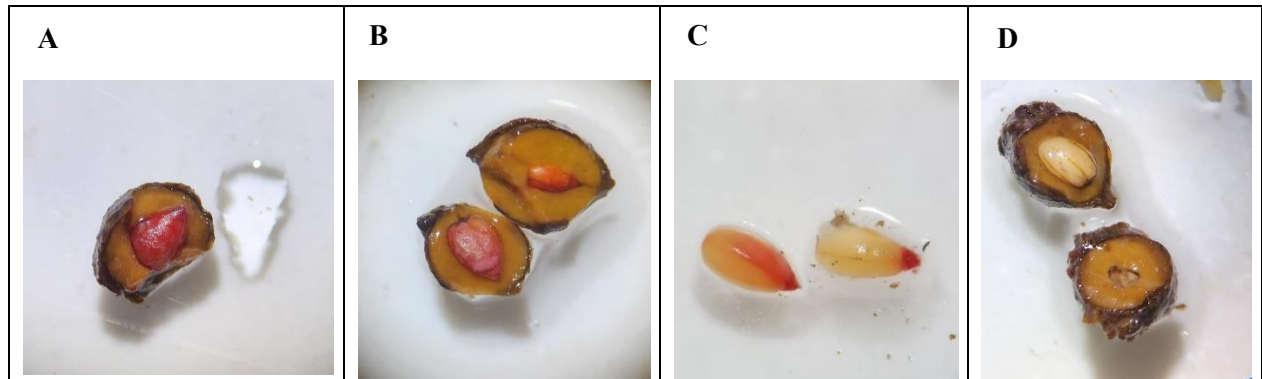


Figura 5. Coloración de las semillas de *M. pubescens* utilizando el test de tetrazolio. Semillas viables. (A, B) Semillas no viables. (C, D).

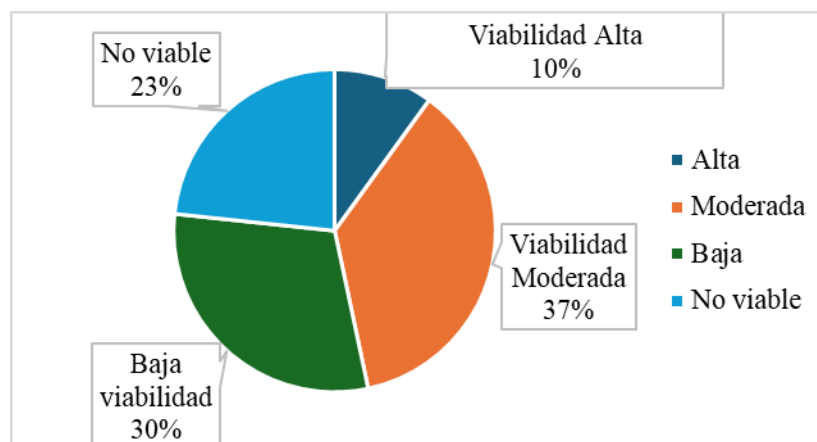


Figura 6. Porcentajes de viabilidad de semillas de *M. pubescens*

De acuerdo con lo anterior la prueba de viabilidad con cloruro de tetrazolio (1%, 24h, 25°C) arrojó viabilidad del 47% agrupando las semillas con alta viabilidad y las de viabilidad moderada (Figura 6)

- *M. guianensis*

Las tinciones obtenidas en las semillas de *M. guianensis* se clasificaron como viables cuando la tinción fue rojo homogéneo (Figura 7, A), si la tinción fue rojo pálido o con partes descoloridas se calificaron como embriones vivos con viabilidad moderada (Figura 7, B) cuando permanecieron con mínima tinción, como baja viabilidad (Figura 7, D), y no viables cuando fueron incoloros, (Figura 7, D)

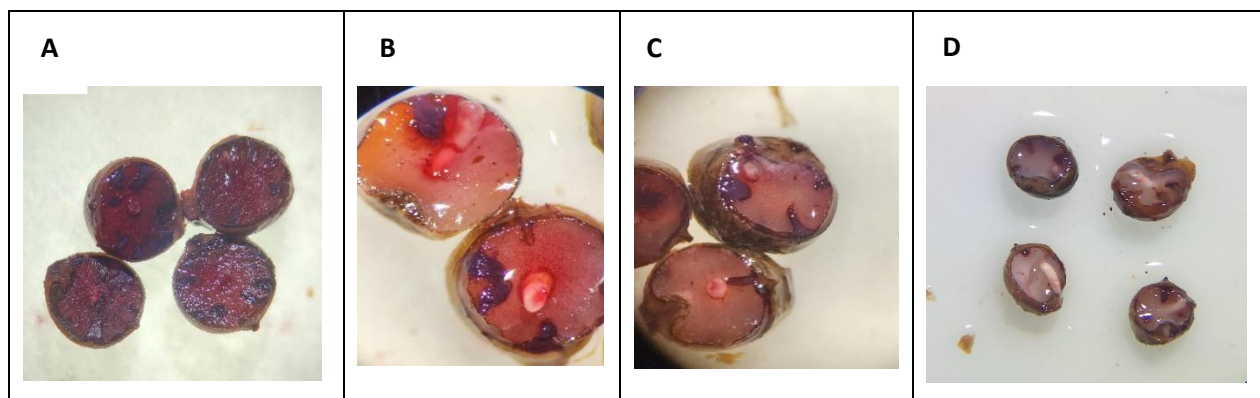


Figura 7. Coloración de las semillas de *M. guianensis* utilizando el test de tetrazolio. Semillas viables. (A, B) Semillas no viables. (C, D).

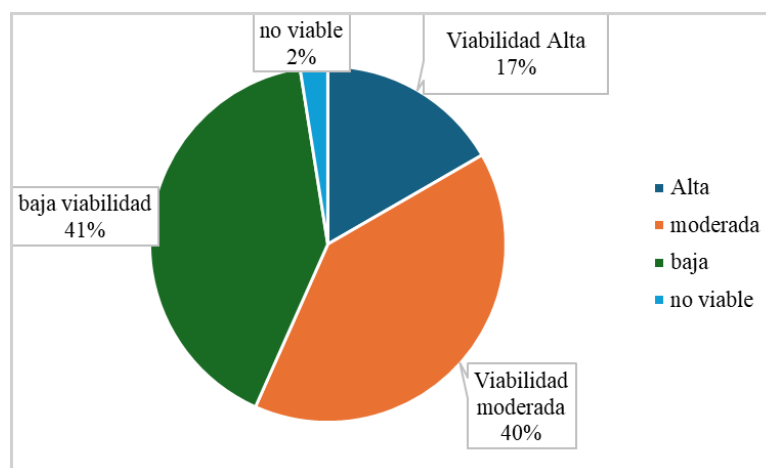


Figura 8. Porcentajes de viabilidad para semillas de *M. guianensis*

De acuerdo con lo anterior la prueba de tetrazolio (1%, 24h, 25°C) arrojó una viabilidad del 57% resaltando que se tomó como semillas viables, aquellas clasificadas con viabilidad alta y moderada (Figura 8).

Tratamientos pregerminativos

Las condiciones microclimáticas de los ambientes incubadora (controladas) e invernadero (no controladas) registradas durante toda la fase del experimento permitieron determinar que el ambiente de la incubadora se caracterizó por una temperatura media de 25.73 ± 0.12 °C con máximos de 25.99 y mínimos de 25.02 y una humedad relativa media de 59.62 ± 4.59 con máximos de 79.27 y mínimos de 43.96. En contraste, el invernadero presentó una temperatura media de 18.63 ± 1.32 °C con máximos de 42.03°C y mínimos de 6.17°C y una humedad relativa media de 71.96 ± 4.17 con máximos de 94.50 y mínimos de 16.20. Estos resultados evidencian la alta variabilidad condiciones microclimáticas del invernadero, frente a las condiciones controladas (incubadora) en laboratorio.

A continuación, las figuras 9 y 10 presentan las curvas de germinación acumulada de *M. pubescens* y *M. guianensis* bajo diferentes tratamientos pregerminativos en invernadero e incubadora. Los resultados para *M. pubescens* muestran una mayor germinación en invernadero, especialmente con el tratamiento de escarificación física (T3) corte con cortaúñas. Este tratamiento incrementó significativamente la germinación de *M. pubescens* en invernadero, alcanzando un porcentaje máximo del 16% al día 90, en comparación con el 2% obtenido en incubadora. En este último ambiente, la germinación se inició tempranamente (día 25), pero se mantuvo por debajo del 5%

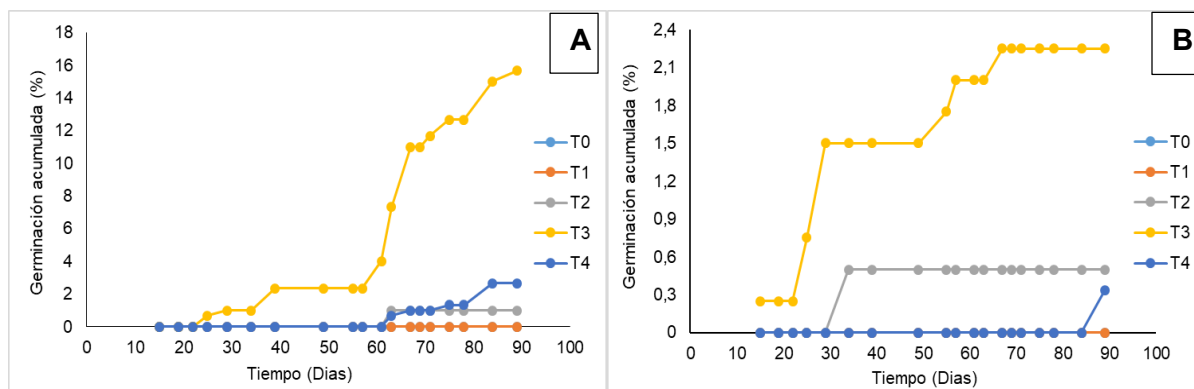


Figura 9. Germinación acumulada de *M. pubescens* durante 90 días para los diferentes tratamientos pregerminativos y ambientes. (A: Germinación acumulada de *M. pubescens* en invernadero; B: Germinación acumulada de *M. pubescens* en incubadora)

En el caso de *M. guianensis*, los tratamientos pregerminativos 1, 2 y 3 mostraron resultados similares con el tratamiento control (T0). Sin embargo, el tratamiento 2 escarificación en peróxido de hidrogeno promovió los mayores porcentajes de germinación, especialmente en incubadora (57%), donde la germinación se inició a partir del día 49 y en el invernadero este tratamiento también presentó los mayores valores, aunque en menor medida (7%) que, en incubadora, con un inicio más tardío (día 84). El tratamiento 4 (congelamiento) inhibió casi por completo la germinación en ambos ambientes

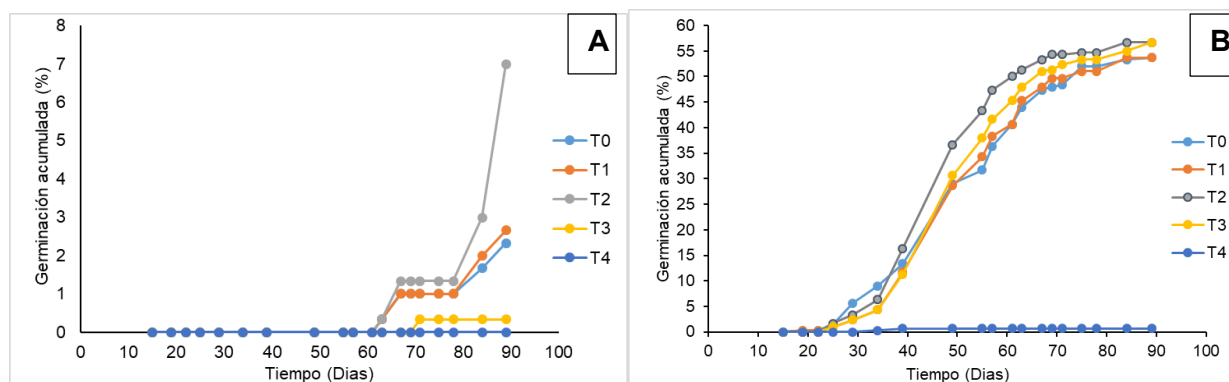


Figura 10. Germinación acumulada de *M. guianensis* durante 90 días para los diferentes tratamientos pregerminativos y ambientes. (A: Germinación acumulada de *M. guianensis* en invernadero; B: Germinación acumulada de *M. guianensis* en incubadora)

Estos resultados sugieren que la germinación de *M. guianensis* se ve favorecida por ambientes con condiciones constantes de temperatura y humedad. Mientras que *M. pubescens* presentó mejores resultados en condiciones de invernadero, lo cual indica, que las fluctuaciones o alternancia de temperatura favorecen el proceso de germinación.

Variables de germinación

A continuación, se muestran los promedios de las variables de germinación calculadas para cada combinación de tratamiento y ambiente. Estos datos permiten realizar una comparación detallada y evaluar los diferentes parámetros de la germinación como lo son el vigor, la uniformidad y la rapidez de germinación.

- *M. pubescens*

Para la variable porcentaje de germinación (PG%), a pesar de que no se presentan diferencias significativas entre tratamientos ni ambientes, el tratamiento de escarificación física usando cortaúñas (T3) mostró los mejores resultados, alcanzando un 16% de germinación en condiciones de invernadero (Tabla 5) y un 2% en incubadora (Tabla 4). Si bien otros tratamientos también mostraron algún grado de germinación, el T3 se destacó por su consistencia y eficacia (Tabla 4 y 5; Figura 11, A)

El índice de velocidad de germinación (IVG) mostró una clara influencia de los tratamientos y las condiciones ambientales. El tratamiento de escarificación física (T3) resultó en un IVG significativamente mayor en el invernadero con un promedio de 0.1326 (Tabla 5) indicando una germinación más rápida y uniforme. Este resultado sugiere que las fluctuaciones de temperatura y humedad propias del invernadero, combinadas con la escarificación, crearon un ambiente óptimo para la germinación. En contraste, en la incubadora con un promedio de 0,0414 7 (Tabla 4), con condiciones más estables, el efecto del tratamiento T3 fue menos evidente, lo que podría indicar que influyen otros factores, siendo la escarificación física particularmente beneficiosa en condiciones de invernadero, o que la incubadora no proporcionaba condiciones óptimas para la germinación, reduciendo de alguna forma el efecto de la escarificación (Tabla 4 y 5; Figura 11, B)

En cuanto a la germinación diaria media (GDM), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ni los ambientes. Sin embargo, el tratamiento de escarificación física con cortaúñas (T3) mostró los valores más altos en comparación con los demás tratamientos, con un valor de 0.0870 en el invernadero (Tabla 5) y 0.0129 en la incubadora (Tabla 4). A pesar de esto, estos valores de GDM son relativamente bajos, lo que indica que, en promedio, muy pocas semillas tratadas con cortaúñas germinaron diariamente. Es importante señalar que la GDM en el invernadero (0.0870) es considerablemente mayor que en la incubadora (0.0129) para el tratamiento T3 (Tabla 4 y 5; Figura 11, C). Esto sugiere que el ambiente podría estar afectando de manera diferente la efectividad del tratamiento de escarificación con cortaúñas.

Finalmente, En cuanto al tiempo medio de germinación (TMG), se encontró un valor de 22.8 en la incubadora (Tabla 4) y de 73.28 en el invernadero (Tabla 5). Esto muestra diferencias significativas entre los dos ambientes de estudio, ya que los datos no se traslapan en ningún punto (Tabla 4; Figura 11, D). Es importante destacar que, en la incubadora, la germinación inicial fue más rápida, pero el número total de semillas germinadas fue menor. En cambio, en el invernadero, aunque la germinación se retrasó, se obtuvo un mayor número total de semillas germinadas a largo plazo.

Tabla 4.

Promedios de las variables de germinación para cada tratamiento pre germinativo aplicado en semillas de M. pubescens evaluadas en condiciones de incubadora

Ambiente		Variables de Germinación						
Tratamiento	PG (%)	SD	IVG	SD	GDM	SD	TMG	SD
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	0	0.0081	0.0049	0.0045	0.0018	0.0045	5.6	13.8804
T3	2	0.0196	0.0414	0.0109	0.0129	0.0109	22.8	18.5625
T4	0	0.0081	0.0018	0.0045	0.0018	0.0045	14.8	36.3340

Nota: PG: porcentaje de germinación, IVG: índice de velocidad de germinación, GDM: germinación diaria media, TMG: tiempo medio de germinación, SD: desviación estándar

Tabla 5.

Promedios de las variables de germinación para cada tratamiento pre germinativo aplicado en semillas de M. pubescens evaluadas en condiciones de invernadero

Ambiente		Variables de germinación						
Tratamiento	PG (%)	SD	IVG	SD	GDM	SD	TMG	SD
T0	0	0	0	0	0	0	0	0
T1	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	1	0.0244	0.0079	0.0194	0.0055	0.0136	10.5	25.7196
T3	16	0.1329	0.1326	0.1261	0.0870	0.0738	73.28	14.1643
T4	3	0.0350	0.0179	0.0243	0.0148	0.0194	38.9	42.8372

Nota: PG: porcentaje de germinación, IVG: índice de velocidad de germinación, GDM: germinación diaria media, TMG: tiempo medio de germinación, SD: desviación estándar

- *M. guianensis*

Al evaluar la variable del porcentaje de germinación de *M. guianensis*, se observan diferencias significativas marcadas por el ambiente y no por tratamientos pregerminativos aplicados, pues no mostraron diferencias significativas en comparación con el control (Figura 9 A). Las condiciones controladas de la incubadora favorecieron una mayor germinación, especialmente en los tratamientos 2 y 3, alcanzando un 57% (Tabla 6). En contraste, el invernadero mostró un porcentaje de germinación significativamente menor, con solo un 7% en el tratamiento 2 (Tabla 7). El tratamiento de estratificación en frío (T4) resultó inefectivo en ambos ambientes. (Tabla 6 y 7; Figura 12, A)

El índice de velocidad germinativa (IVG) para el caso de las semillas evaluadas de *M. guianensis*, al igual que en el anterior caso se observan diferencias significativas influenciadas por el ambiente, pero no en los tratamientos (Figura 12), sin embargo, cabe mencionar que los

tratamientos pregerminativos, como la escarificación química (T2) y la aplicación de hormonas vegetales (T3), mostraron una mayor efectividad en la incubadora, alcanzando IVG de 0,606 y 0,567, respectivamente (Tabla 6). Sin embargo, en el invernadero, con condiciones ambientales más variables, solo el tratamiento 2 logró un IVG de 0,0425 (Tabla 7). Estos resultados sugieren que condiciones estables y rangos cercanos a 25.73 ± 0.12 °C para temperatura y 59.62 ± 4.59 para humedad relativa, permiten superar la dormancia y favorecen una germinación más rápida. El tratamiento de congelamiento (T4) resultó inefectivo en ambos ambientes (Tabla 6 y 7; Figura 12, B)

En cuanto a la germinación diaria media (GDM), se observó una clara influencia del ambiente sobre la velocidad de germinación de *M. guianensis*, los tratamientos pregerminativos evaluados no mostraron diferencias significativas en comparación con el control (Figura 12 C), sin embargo, las condiciones controladas de la incubadora favorecieron una mayor velocidad de germinación, especialmente en los tratamientos 2 y 3, alcanzando valores de GDM de 0,314 (Tabla 6). Mientras que, en el invernadero, la velocidad de germinación fue considerablemente menor, con un valor máximo de 0,03288 en el tratamiento 2 (Tabla 7). El tratamiento de congelamiento (T4) resultó inefectivo en ambos ambientes (Tabla 6 y 7; Figura 12, C)

Finalmente, en cuanto al tiempo medio de germinación (TMG), se encontraron diferencias significativas solo en el tratamiento 3 (Figura 12 D). En este caso, el TMG fue significativamente mayor en la incubadora (53.2) en comparación con el invernadero (11.8). Sin embargo, este resultado se debe principalmente a la germinación temprana de una sola semilla en el invernadero, lo cual no refleja una tendencia general en la velocidad de germinación. Por otro lado, en la incubadora, el tratamiento 2 mostró un TMG de 33.7, mientras que el tratamiento 3 tuvo un TMG de 53.2 (Tabla 6; Figura 12, D). Esto sugiere que el tratamiento 2 fue más efectivo, ya que las semillas germinaron más rápido y la mayoría de ellas lo hicieron en un período de tiempo similar, indicando una alta uniformidad en la germinación.

Tabla 6.

Promedios de las variables de germinación para cada tratamiento pre germinativo aplicado en semillas de M. guianensis evaluadas en condiciones de incubadora

Ambiente		Variables de germinación						
Tratamiento	PG (%)	SD	IVG	SD	GDM	SD	TMG	SD
T0	54	0.0463	0.561	0.0505	0.298	0.0257	72.9	51.3815
T1	54	0.0991	0.541	0.0929	0.298	0.0550	64.5	30.3183
T2	57	0.1048	0.606	0.1018	0.314	0.0582	33.7	25.6096
T3	57	0.0952	0.567	0.1014	0.314	0.0528	53.2	2.8459
T4	1	0.0103	0.009	0.0142	0.003	0.0057	12.1	18.9147

Nota: PG: porcentaje de germinación, IVG: índice de velocidad de germinación, GDM: germinación diaria media, TMG: tiempo medio de germinación, SD: desviación estándar

Tabla 7.

Promedios de las variables de germinación para cada tratamiento pre germinativo aplicado en semillas de M. guianensis evaluadas en condiciones de invernadero

Ambiente		Variables de germinación						
Tratamiento	PG (%)	SD	IVG	SD	GDM	SD	TMG	SD
T0	2	0.0388	0.0153	0.0268	0.0129	0.0215	41.1	45.3537
T1	3	0.0432	0.0173	0.0274	0.0148	0.0240	25.6	39.9047
T2	7	0.1150	0.0425	0.0667	0.0388	0.0639	53.7	42.3851
T3	0	0.0081	0.0023	0.0057	0.0018	0.0045	11.8	28.9856
T4	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: PG: porcentaje de germinación, IVG: índice de velocidad de germinación, GDM: germinación diaria media, TMG: tiempo medio de germinación, SD: desviación estándar

Adicionalmente, a través del análisis de varianza de rangos rankeado (ANOVA RANKEADO), se evaluaron las diferencias estadísticas en las variables de germinación (PG%, IVG, GDM y TMG) entre los distintos tratamientos y ambientes para cada especie. Este análisis

complementa la información detallada presentada en las tablas 4, 5, 6 y 7 proporcionando una visión más global de los resultados.

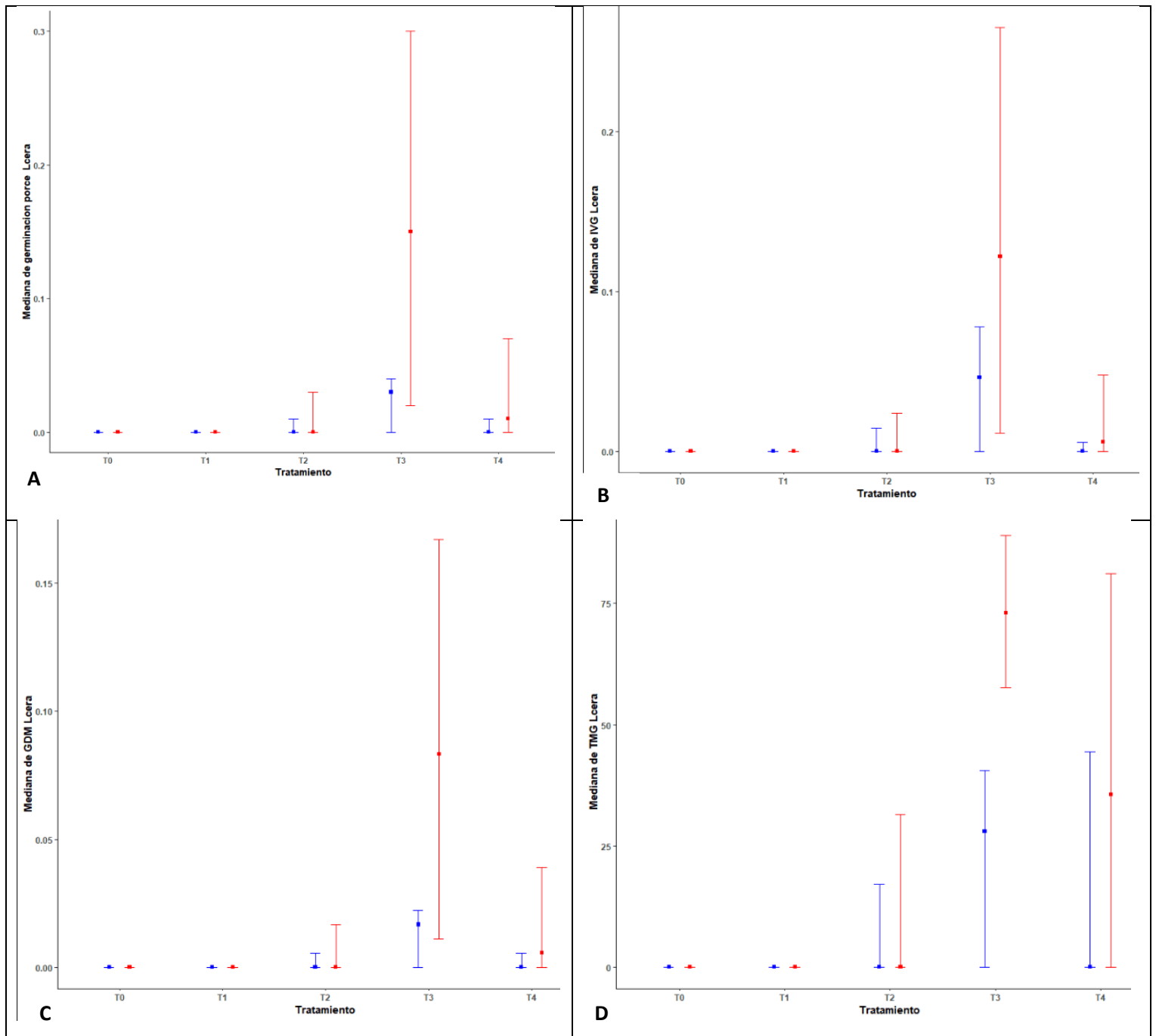


Figura 11. Análisis estadístico del efecto de diversos tratamientos y ambientes (incubadora e invernadero) sobre diferentes indicadores de germinación en semillas de *M. pubescens* (A) porcentaje de germinación, (B) IVG: índice de velocidad de germinación, (C) GDM: germinación diaria media, (D) TMG: tiempo medio de germinación (Línea azul — incubadora, Línea roja — invernadero)

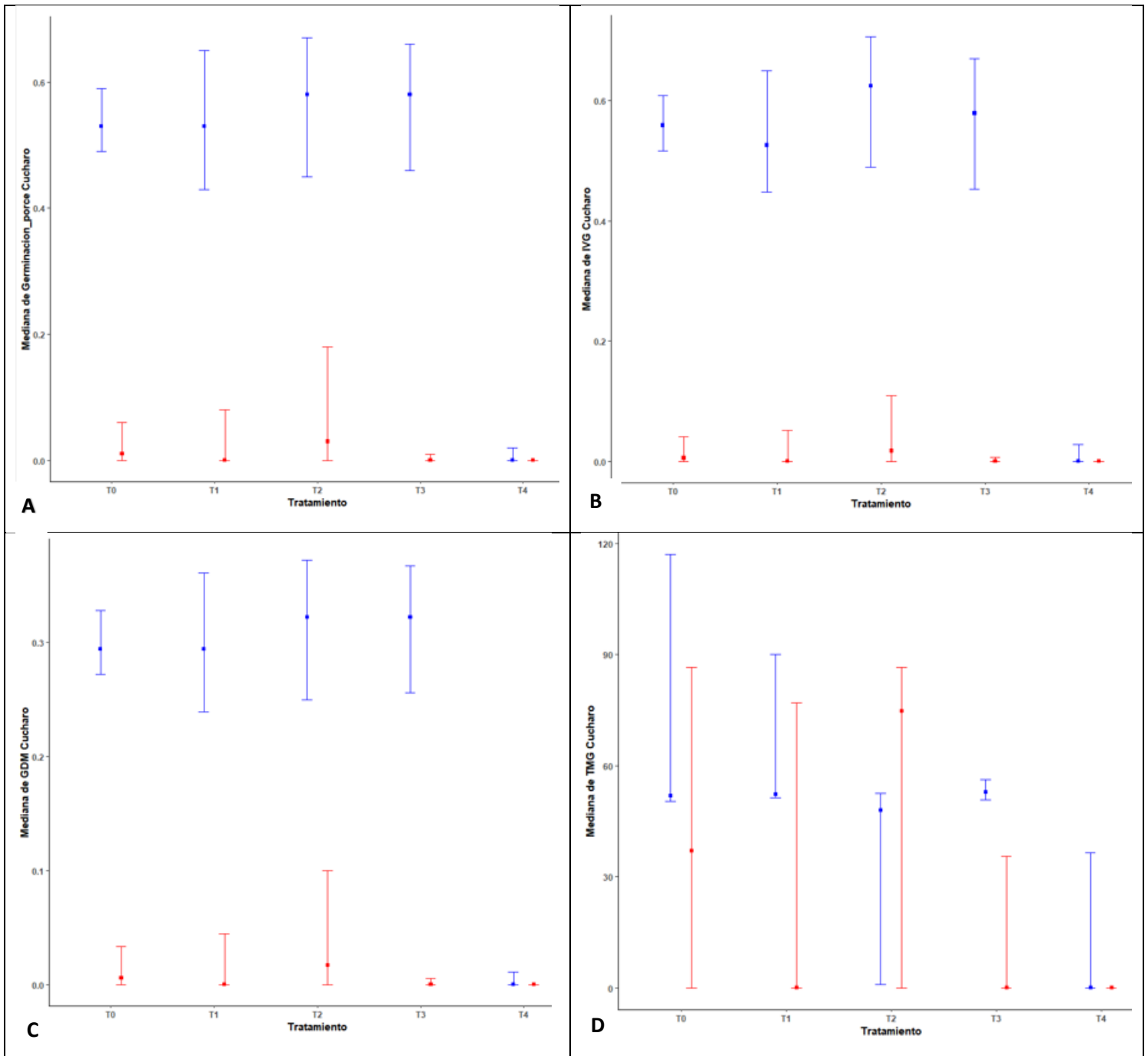


Figura 12. Análisis estadístico del efecto de diversos tratamientos y ambientes (incubadora e invernadero) sobre diferentes indicadores de germinación en semillas de *M. guianensis* (A) porcentaje de germinación, (B) IVG: índice de velocidad de germinación, (C) GDM: germinación diaria media, (D) TMG: tiempo medio de germinación (Línea azul — incubadora, Línea roja — invernadero)

Discusión

Relación entre viabilidad de semillas y porcentajes de germinación Para *M. pubescens*, la prueba de tetrazolio mostró una viabilidad del 47%, valores que resultaron superiores a lo reportado por Melo (2004), quien encontró para esta especie viabilidad del 31,08% (Tetrazolio 1%, 20°C). Sin embargo, los porcentajes de germinación fueron bajos, aún con la aplicación de tratamientos pregerminativos, alcanzando el mayor valor de germinación (16%) en condiciones de invernadero (no controladas) y tratamiento pre germinativo de escarificación física con cortaúñas. Así, es posible señalar que la germinación, no está asociada únicamente a la viabilidad embrionaria ni a los tratamientos pregerminativos como factores determinantes, sino que puede estar presente una dormancia no unificada en las semillas de esta especie. La baja relación entre la viabilidad y la germinación ha sido reportada para diversas especies de semillas de forestales como por ejemplo *Quercus robur*, *Picea abies*, y *Fagus sylvatica* (Das Virgens et al. 2019 y Mancipe et al. 2018). Para el caso de *M. pubescens*, Padilla y Tenecela (2024) encontraron porcentajes de germinación por debajo del 20% y sugieren que la baja germinación podría ser una característica de la especie.

Estudios previos han demostrado que existen múltiples factores, tanto internos como externos a la semilla que pueden influir significativamente en la germinación, dentro de los factores internos puede considerarse el potencial fisiológico de las semillas (Bezerra et al. 2015; Das Virgens et al. 2019) o el grado de madurez del embrión (Sosa et al. 2012) los cuales por medio de la prueba de viabilidad con tetrazolio no son detectables, pues esta prueba especialmente determina si el embrión está vivo o no, más no puede diferenciar entre las condiciones del embrión, es decir si el embrión está bien desarrollado, está maduro, o si el embrión presenta malformaciones o algún tipo de daño mecánico o fisiológico (Pérez & Pita, 2016).

Así mismo, factores externos como la temperatura, humedad y luz durante el almacenamiento y la germinación pueden influir los porcentajes de germinación en forestales

(Palomeque et al. 2017; Padilla & Tenecela 2024; Duplanic et al. 2015). Lo que posiblemente puede describir los resultados obtenidos en cuanto a la germinación, no obstante, también se debe considerar la aplicación inadecuada de los tratamientos pregerminativos.

En el caso de especies específicas como *M. pubescens*, también pueden existir requerimientos nutricionales particulares dependientes de factores como la composición del suelo donde se siembra la semilla, las condiciones climáticas que influyen en la absorción de estos o interacciones con otros organismos que influyan en estos procesos como es el caso de las micorrizas y otros agentes microbianos donde según lo reportado por algunos autores se obtiene porcentajes de germinación más altos (Cifuentes, 2022; Urgiles et al. 2016; Sisalima, 2021). La inhibición fisiológica y la presencia de sustancias inhibitoras, pueden contribuir a esto. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios más detallados sobre las condiciones de germinación de estas especies para mejorar las tasas de éxito en futuros ensayos.

Para el caso de *M. guianensis*, la prueba de tetrazolio arrojó un 57% de viabilidad, estos resultados son menores a los reportados por Morales 2020, quien encontró porcentajes de viabilidad del 75% aplicando Tetrazolio al 1%, por 3 horas a 35°C de acuerdo con la metodología propuesta por Suárez & Melgarejo (2010). Lo anterior sugiere que todas las semillas viables germinaron teniendo en cuenta los resultados de la prueba de germinación (57%), sin embargo, Aunque estas pruebas sugieren una buena calidad general de las semillas, la discrepancia entre ambas indica que podría existir algún tipo de dormancia, contrario a lo reportado por Mancipe et al. (2018).

Es decir, si bien el tetrazolio indica que las semillas están vivas, las condiciones de la prueba de germinación no permitieron que todas ellas germinaran, a pesar de que se utilizó una cantidad significativamente mayor de semillas en esta prueba. Esto sugiere que otros factores, además de la viabilidad intrínseca de las semillas y los tratamientos pregerminativos, influyeron en la germinación, como lo han señalado estudios previos en especies forestales (Mancipe et al., 2018; Ortiz & Romero, 2022)

Esto mismo lo confirman las diferencias significativas encontradas en el porcentaje de germinación entre incubadora (57%) e invernadero (7%) pues sugieren que factores ambientales y otros factores no evaluados como la luz y la termodormancia los cuales pueden estar influyendo en

la germinación, lo cual es consistente con investigaciones previas que, por ejemplo, han demostrado que la variable de temperatura influye en las pruebas de viabilidad y porcentajes de germinación (Morales, 2020). Se requieren estudios adicionales para identificar y cuantificar estos factores y así optimizar las condiciones de germinación.

Tratamientos pregerminativos y variables de germinación

Los resultados obtenidos en cuanto al mejor tratamiento pregerminativo para las semillas de *M. pubescens*, indican que, aunque no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, el tratamiento 3 (Escarificación física con cortaúñas) fue el que mostró un mayor porcentaje de germinación, una mayor velocidad y uniformidad de germinación. Estos resultados son consistentes con estudios previos que han demostrado que la escarificación física ha demostrado ser un método efectivo para romper la dormancia en diversas especies del género *Morella*. Por ejemplo, Lara (2022) reportó un porcentaje de germinación de 92% y un aumento de velocidad de germinación de *M. pubescens* al utilizar lija como tratamiento pre germinativo, lo que también concuerda con lo mencionado por Crespo & Inga (2017) quienes indican que la escarificación física favorece una mayor imbibición, desencadenando así la activación de las enzimas y procesos metabólicos esenciales para el crecimiento embrionario.

Sin embargo, es importante destacar que para la técnica de escarificación con cortaúñas utilizada en este estudio no existen reportes para esta especie, pero sí para otras especies forestales como *Vitex glabrata* y *Garuga pinnata* con reportes de germinación del 90% como lo menciona Hossain et al, (2018). De otra parte, Haritaji & Widoretno (2018), compararon dos tipos de escarificación física (lija y cortaúñas), encontrando porcentajes de germinación del 100% realizando corte con cortaúñas en semillas de *Amorphophallus muelleri*. Sin embargo, la baja germinación observada en algunos casos podría estar relacionada con daños en el embrión, afectando su capacidad para germinar tal como lo menciona en su estudio Statwick (2016), lo cual concuerda con este estudio, pues es posible evidenciar heterogeneidad en los cortes realizados en la cubierta seminal de las semillas para el tratamiento ya que la escarificación con cortaúñas puede ser un método poco preciso, lo que podría resultar en una gran variabilidad en el grado de daño causado a las semillas.

Lo que sugiere que la escarificación física con cortaúñas podría ser una herramienta favorable para romper la dormancia física en semillas de *M. pubescens* pues permitió dañar la testa de la semilla de una forma sencilla y práctica, facilitando la imbibición de agua y la difusión de gases, lo que puede romper la dormancia física y promover la germinación (Luna et al., 2018). Sin embargo, es fundamental optimizar esta técnica para evitar daños excesivos en el embrión. Se sugieren estudios futuros para evaluar diferentes ángulos de corte, profundidades de incisión y tipos de cortaúñas.

De esta forma, al discutir la escarificación física, es fundamental enfatizar el tipo de dormancia que se está rompiendo, en este caso se evidencia que *M. pubescens* presenta dormancia física (debido a la dureza de la testa) y a los resultados obtenidos tras la aplicación del tratamiento de escarificación física. Sin embargo, es importante considerar que pueden existir otros tipos de dormancia que pueden estar involucrados, como la fisiológica y aunque no se obtuvieron resultados positivos con los tratamientos pre germinativos aplicados para romper la dormancia de tipo fisiológica, tales como la estratificación en frío y la aplicación de ácido giberélico, es posible inferir que estos no fueron suficientes para superar todos los obstáculos a la germinación o que las semillas utilizadas tenían otros factores que limitaban la germinación ya que este resultado diverge significativamente con lo obtenido por Castro y Ayala (2011), quienes utilizan solventes orgánicos e inductores de germinación (giberelinas) , y obtuvieron valores muy altos en la germinación de semillas de la misma especie.

A su vez, la influencia de la temperatura y humedad en condiciones ambientales variables parecen haber estimulado la germinación, lo que sugiere que factores ambientales están interactuando con los mecanismos de dormancia. Lo cual no se descarta para este estudio teniendo en cuenta lo obtenido en la variable de análisis del tiempo medio de germinación (TMG) además de las diferencias estadísticas reportadas (Figura 11) donde se reveló una clara influencia del ambiente en la velocidad de germinación en el tratamiento 3, pues las semillas en la incubadora, mantenida a una temperatura constante de 25°C y una humedad relativa del 59%, germinaron en promedio a los 22.8 días. Por el contrario, en el invernadero, con temperaturas fluctuantes entre 15°C y 40°C y una humedad relativa variable, el TMG fue de 73.28 días. Esta diferencia sugiere que en condiciones más estables de la incubadora favorecieron una germinación inicial más rápida, pero seguida de un estancamiento, mientras que las fluctuaciones ambientales del invernadero,

aunque retrasaron el inicio de la germinación, permitieron que un mayor número de semillas germinaran a largo plazo. La variabilidad en la respuesta a los tratamientos y condiciones ambientales apunta a la existencia de una combinación de dormancia física y termodormancia. Las semillas en termodormancia están adaptadas a germinar en respuesta a señales ambientales específicas, como las bajas temperaturas, tal como lo demostraron Benvenuti et al. (2001) en sus investigaciones.

En cuanto a la termodormancia, es probable que una proporción de las semillas presente requerimientos de estratificación, es decir, un período de exposición a bajas temperaturas y alta humedad para romper el reposo (Benech et al., 2000). Las condiciones estables de la incubadora podrían no haber satisfecho este requisito, mientras que las fluctuaciones térmicas en el invernadero podrían haber simulado las condiciones naturales necesarias para la estratificación lo que coincide con los promedios de temperatura obtenidos en el invernadero reportados en este estudio (18.63 ± 1.32 °C). Asimismo, las condiciones variables del invernadero podrían haber favorecido una mejor degradación de las cubiertas o la formación de microgrietas, facilitando la imbibición y la germinación (Baskin & Baskin, 2001).

Por otra parte, Aunque la escarificación con cortauñas mostró resultados prometedores, otros tratamientos evaluados, como la estratificación en caliente y el uso de ácido giberélico, no fueron efectivos en este estudio. Estos resultados contrastan con algunos estudios previos (Castro & Ayala 2011; López et al, 2002; Meneses 2018; Pipinis, et al. 2016) que han reportado el éxito de estos tratamientos en otras especies. Sin embargo, la efectividad de los tratamientos pregerminativos puede variar significativamente según la especie, la variedad y las condiciones ambientales.

En conjunto, estos resultados indican que la germinación de *M. pubescens* es un proceso complejo influenciado por múltiples factores, y que la combinación de dormancia fisiológica y física podría explicar la baja y variable germinación observada. Por esta razón las condiciones del invernadero, aunque menos controladas, podrían haber proporcionado un ambiente más heterogéneo, con micrositios más favorables para la germinación de algunas semillas. Esto podría explicar el mayor porcentaje de germinación y los valores más altos de los índices de velocidad, a pesar del tiempo de germinación más prolongado.

Los resultados obtenidos en el estudio de los tratamientos pregerminativos para *M. guianensis* muestran la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos pregerminativos evaluados lo cual indica que, aunque todos fueron efectivos en superar ciertas barreras fisiológicas, ninguno resultó ser determinante en la mejora sustancial del porcentaje de germinación en contraste con el testigo (T1). No obstante, el tratamiento 2 (peróxido de hidrógeno) mostró una tendencia positiva hacia un mejor desempeño en términos de porcentaje de germinación, velocidad de germinación y uniformidad, lo que sugiere que la naturaleza de la dormancia en esta especie podría estar relacionada principalmente con la impermeabilidad de la testa (Ávila & Gómez 2023; Crespo & Ochoa 2019).

Esta mejora puede atribuirse a la capacidad oxidante del peróxido de hidrógeno para debilitar la testa de la semilla, facilitando la imbibición y el inicio de los procesos metabólicos embrionarios. Estos resultados corroboran los hallazgos de estudios previos en otras especies (Villalobos et al., 2021), donde se ha demostrado la eficacia del peróxido de hidrógeno para romper la dormancia física. Asimismo, la ineffectividad de tratamientos como la estratificación en caliente y la aplicación de ácido giberélico, coincide con los reportes de Leyva (2021), quien sugiere que la dormancia en *M. guianensis* es predominantemente física. Estos resultados son también consistentes con los obtenidos por Flórez et al. (2011), quienes observaron una mayor germinación en el tratamiento control en comparación con los tratamientos pregerminativos, incluyendo el choque térmico con agua caliente

Sin embargo, la efectividad de los tratamientos pregerminativos puede verse afectada por diversos factores, incluyendo la composición de la cubierta seminal y la presencia de inhibidores internos (Meneses, 2018). Además, factores ambientales como la temperatura, la fotoperiodicidad y la humedad relativa pueden influir significativamente en la germinación al modular procesos fisiológicos como la imbibición, la activación de enzimas, la síntesis de hormonas y la elongación del eje embrionario. La variabilidad en las condiciones ambientales del invernadero, en comparación con las condiciones controladas de la incubadora, pudo haber desencadenado respuestas fisiológicas diferenciales en las semillas, afectando así la velocidad y uniformidad de la germinación. Estudios fisiológicos detallados, incluyendo análisis de la expresión génica y la actividad enzimática, podrían revelar los mecanismos moleculares subyacentes a estas respuestas (Garduza et al, 2015; Rosabal et al., 2014)

Así mismo, la variabilidad genética entre diferentes poblaciones de *M. guianensis* podría explicar las diferencias en la respuesta a los tratamientos pregerminativos (Meneses 2018; Pariatanta & Huanambal 2024). Como también, las condiciones ambientales durante la maduración de las semillas y el almacenamiento pueden afectar la viabilidad y la dormancia (Sánchez et al, 2019; Patiño et al, 2019)

De otra parte, el tratamiento de congelación no resultó efectivo en mejorar la germinación de las semillas de *Myrsine guianensis*. De hecho, se observó un porcentaje de germinación nulo en comparación con otros tratamientos. Esta disminución en la viabilidad podría atribuirse a los daños causados por el proceso de congelación, como la formación de cristales de hielo dentro de las células de la semilla durante el proceso de congelación es uno de los principales factores que pueden comprometer su viabilidad. Estos cristales pueden perforar las membranas celulares, dañando estructuras vitales como el núcleo y las mitocondrias, además esto es posible porque las semillas de esta especie se consideran como recalcitrante (Pammenter & Berjak, 2013; Flórez et al; 2011).

Además de la formación de cristales de hielo, la deshidratación excesiva causada por la congelación puede provocar daños en los tejidos embrionarios, dificultando la rehidratación y el inicio de la germinación (Magnitskiy & Plaza 2007; Montejo et al, 2004). Otro factor a considerar es el estrés oxidativo generado durante los procesos de congelación y descongelación. Los radicales libres producidos pueden dañar las biomoléculas esenciales para la viabilidad de la semilla, como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Pammenter & Berjak, 2013).

Finalmente, comprender los mecanismos de dormancia y los factores que afectan la germinación de *M. guianensis* es fundamental para desarrollar protocolos de propagación eficientes y contribuir a la conservación de esta especie. Los resultados de este estudio sugieren que una combinación de tratamientos, junto con un control preciso de las condiciones ambientales, podría optimizar la germinación de las semillas y facilitar la producción de plántulas para su uso en programas de restauración ecológica.

Relación entre ambientes y tasas de germinación de semillas

Los resultados obtenidos en este estudio revelan una clara influencia de las condiciones ambientales en la germinación de *M. guianensis* y *M. pubescens*. Las semillas de *M. guianensis* mostraron una mayor tasa de germinación y una mayor uniformidad en las condiciones estables de la incubadora, sugiriendo que esta especie podría tener requerimientos más específicos en cuanto a temperatura y humedad para iniciar su desarrollo. Por el contrario, *M. pubescens* presentó una mayor tasa de germinación en el invernadero, lo que indica una mayor tolerancia a las fluctuaciones ambientales. Esto resalta la importancia de las condiciones ambientales óptimas para superar la dormancia y promover la germinación en esta especie. Esto es consistente con los hallazgos de numerosos estudios en fisiología de semillas (Bewley & Black, 1994). Las condiciones ambientales óptimas, como temperatura y humedad, son fundamentales para superar la dormancia y promover la germinación en muchas especies.

La temperatura, en particular, parece ser un factor crítico debido a que puede afectar la velocidad de reacciones enzimáticas (Suárez & Melgarejo 2010), además las especies tropicales suelen tener requerimientos térmicos específicos para germinar (Norden et al., 2009). Por lo anterior para *M. pubescens*, comparando los resultados de germinación obtenidos bajo condiciones controladas (2%) y no controladas (16%), es posible inferir que aunque se tuvieran condiciones constantes de temperatura (25°C) esta no coincide con los requerimientos óptimos de esta especie, que naturalmente crecen bajo sombra en el bosque ripario (Riaño et al. 2015), lo anterior se puede complementar con otro estudio donde se evalúa el porcentaje de germinación de la misma especie bajo diferentes temperaturas, encontrando mayores porcentajes de germinación (31.50%) cuando se utilizan temperaturas de 20°C en comparación con temperaturas de 30 Y 40°C donde se registran valores más bajos, esto puede explicar también, el comportamiento que tiene la germinación de estas en el invernadero, donde la temperatura, aunque variable, presentó un promedio de 18.63 ± 1.32 °C, sin embargo es de resaltar que durante el inicio del experimento la temperatura alcanzo picos máximos de hasta 42.03 °C, lo cual posiblemente pudo detener la germinación de las semillas ocasionando un retraso y por tanto el mayor tiempo de germinación obtenido.

De este modo, que temperaturas óptimas pueden acelerar procesos como la imbibición, la activación de enzimas y la síntesis de hormonas, promoviendo así la germinación. Sin embargo, temperaturas extremas pueden inducir estrés térmico, dañando las membranas celulares y reduciendo la viabilidad de las semillas (Castro y Ayala 2011; Melo 2004) En el caso de *M.*

guianensis, las condiciones estables de la incubadora podrían haber proporcionado la temperatura óptima para la activación de los procesos fisiológicos necesarios para la germinación. Por otro lado, las fluctuaciones de temperatura en el invernadero podrían haber expuesto a las semillas de *M. pubescens* a condiciones subóptimas o incluso estresantes, lo que podría explicar su menor tasa de germinación en comparación con las condiciones controladas.

La humedad también es un factor determinante en la germinación de las semillas, ya que activa los procesos metabólicos necesarios para la rehidratación de los tejidos embrionarios y el inicio del crecimiento (Pérez et al, 2014). Un nivel de humedad óptimo es esencial para que las semillas puedan absorber el agua necesaria para romper la dormancia y emerger. Sin embargo, un exceso de humedad puede provocar la pudrición de las semillas, mientras que una humedad insuficiente puede inhibir la germinación.

En el caso de *M. guianensis*, su mayor tasa de germinación en condiciones controladas sugiere que esta especie podría tener requerimientos más estrictos en cuanto a la disponibilidad de agua. Un estudio de Gil et al., (2018) demostró que muchas especies de la familia *Myrsinaceae* presentan mecanismos de dormancia que requieren condiciones específicas de humedad para ser superadas. Es posible que *M. guianensis* haya desarrollado adaptaciones fisiológicas que la hacen más sensible a las fluctuaciones en la humedad, lo que podría explicar su mejor desempeño en condiciones estables.

Por otro lado, *M. pubescens* parece ser más tolerante a una amplia gama de condiciones de humedad, lo cual podría indicar una mayor capacidad para adaptarse a diferentes ambientes. Esta mayor tolerancia podría estar relacionada con mecanismos fisiológicos que le permiten resistir períodos de sequía o, por el contrario, tolerar condiciones de alta humedad. Estudios previos en otras especies han demostrado que la variabilidad genética puede influir en la tolerancia a la sequía y a la inundación (Caranqui, 2017).

Las diferencias en la respuesta a la humedad entre *M. guianensis* y *M. pubescens* podrían tener implicaciones importantes para la distribución y el éxito reproductivo de estas especies en sus hábitats naturales. *M. guianensis*, con sus requerimientos más específicos, podría estar restringida a ambientes con condiciones de humedad más estables, como los bosques húmedos. Por

el contrario, *M. pubescens*, con su mayor tolerancia, podría ser capaz de colonizar una gama más amplia de hábitats, incluyendo aquellos sujetos a fluctuaciones estacionales en la humedad.

Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas que han demostrado la variabilidad en los requerimientos de germinación entre diferentes especies forestales (Mancipe et al. 2018). Por ejemplo, Figueroa, (2000) encontró que especies de bosques tropicales secos, como *M. pubescens*, suelen presentar mecanismos de adaptación que les permiten germinar en condiciones ambientales variables. En contraste, especies de bosques húmedos tropicales, como *M. guianensis*, podrían ser más sensibles a los cambios en su entorno.

Es importante destacar que las condiciones del invernadero, aunque menos controladas que las de la incubadora, pueden simular de manera más realista las condiciones naturales en las que estas especies se encuentran. Por lo tanto, los resultados obtenidos en el invernadero podrían ser más relevantes para comprender la dinámica de la regeneración natural de estas especies en su hábitat.

Además de la temperatura y la humedad, otros factores ambientales como la luz y la fotoperiodicidad pueden influir en la germinación de algunas especies (Moreno & Cuartas 2014; Pérez et al, 2014). Aunque estos factores no fueron evaluados en este estudio, podrían ser objeto de futuras investigaciones para comprender mejor los requerimientos ecológicos de *M. guianensis* y *M. pubescens*.

Conclusiones y recomendaciones

- Los resultados de este estudio subrayan la complejidad de la germinación en *Morella pubescens* y la necesidad de realizar investigaciones adicionales para desarrollar estrategias de propagación eficientes. La escarificación física con cortaúñas se presenta como una técnica prometedora para mejorar la germinación de esta especie, pero se requieren más estudios para confirmar su eficacia y optimizar su aplicación.

- Los resultados de este estudio indican que la escarificación con peróxido de hidrógeno puede ser una herramienta útil para mejorar la germinación de semillas de *Myrsine guianensis*. Sin embargo, la presencia de múltiples factores que afectan la germinación sugiere la necesidad de realizar estudios más detallados para comprender

completamente los mecanismos de dormancia en esta especie. Además, la optimización de las condiciones ambientales y la combinación de diferentes tratamientos podrían mejorar aún más los resultados.

- Los resultados obtenidos sugieren que las condiciones ambientales tienen un impacto significativo en la germinación de *M. guianensis* y *M. pubescens*. *M. guianensis* parece ser más sensible a las fluctuaciones ambientales, mientras que *M. pubescens* muestra una mayor tolerancia. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la propagación y conservación de estas especies en viveros y en programas de restauración ecológica.

- En conclusión, para las dos especies, se requiere estandarizar un protocolo para la aplicación de la prueba de tetrazolio, para así optimizar los resultados obtenidos, considerar y conocer las condiciones adecuadas para evaluar la germinación y así mismo se recomienda para futuros estudios evaluar otras pruebas en conjunto como el potencial fisiológico de las semillas y el grado de madurez de semillas el cual puede influir en los resultados

Referencias

- Acuña, I. (2006). Una visión integral de la biodiversidad en Colombia. *Luna Azul*, (2), 2 de 5. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Armenteras, D., Gonzáles, T., Meza, M., Ramírez, J., Cabrera, E., Galindo, G., & Yepes, A. (2018). Causas de Degradación Forestal en Colombia: una primera aproximación. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia-IDEAM, Programa ONU-REDD, 105.
- Ávila, O., & Gómez, N. (2023). Plan de manejo del vivero de la reserva natural "umbral cultural horizontes" Bogotá, Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Bartholomäus, A., De la Rosa, A., Santos, J., Acero, L., & Moosbrugger, W. (1998). El Manto de la Tierra: Flora de los Andes. Panamericana Formas e Impresos S.A., Bogotá, COL. 332p
- Baskin, C. (2014). Seeds ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic press, *Elsevier*. Obtenido de: [\[Link\]](#)

- Baskin, C., & Baskin, J. (2001). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego, California: Academic Press.
- Bauer, D., Nunes, M., Goetz, B., Muller, A., & Schmitt, J. (2012). Fenologia de três espécies de *Myrsine L.* em floresta secundária semidecídua no sul do Brasil. *Revista Árvore*, 36(5), 859-868.
- Benavidez, E., Morales, L., & Navia, J. (2015). Propiedades físicas y contenido de materia orgánica en diferentes usos del suelo en Samaniego, Colombia. *Agroforestería Neotropical* 1(5):32-41
- Benech, R., Sánchez, R., Forcella, F., Kruk, B., & Ghera, C. (2000). Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*, 67(2), 105–122.
- Benvenuti, S., Macchia, M., & Miele, S. (2001). Light, temperature and burial depth effects on *Rumex obtusifolius* seed germination and emergence. *Weed Research*, 41(2), 177–186.
- Bernal, R., Gradstein, S., & Celis, M. (2015). *Myrsine guianensis* (Aubl.) Kuntze En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia.
- Bewley, J. (2013). *Seeds : physiology of development, germination and dormancy* /. Springer. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Bewley, J., & Black, M. (1994). *Seeds: physiology of development and germination*. New York: Springer.
- Bezerra, D., Silva, G., Nascimento, L., Bruno, L., Medeiro, J. (2015) Extração da mucilagem em sementes de *Genipa americana L.* visando o potencial fisiológico. [Mucilage extraction in seeds of *G. americana L.* with a view to physiological potential]. *Revista Ciencia Agronômica*, 46, 786-791.
- Calle, Z. (2003). Restauración de suelos y vegetación nativa: ideas para una ganadería andina sostenible. Fundación Centro para la Investigación de Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV. Cali, Colombia. 97 p.
- Caranqui, J. (2017). Árboles y arbustos nativos potenciales para reforestación en la Sierra Central de Ecuador. *Enfoque UTE*, 8(5), 103-109. Obtenido de: [\[Link\]](#)

- Castillo, R., & Santacruz, P. (2009). Extracción, caracterización y purificación de aceites esenciales de las hojas de laurel de cera (*Morella pubescens*) y Romero (*Rosmarinus officinalis*) como alternativa de desarrollo agroindustrial para el departamento de Nariño. Trabajo de grado Ingeniero Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño. Pasto, 181p.
- Castillo, Y., & Calderon, J. (2017). Plantas usadas por aves en paisajes cafeteros de Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(2), 3-18
- Castro, M., & Ayala, N. (2012). Optimización de técnicas para la pre-germinación del laurel de cera (*Morella pubescens* Hy B ex Willdenow) [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Chamba, L., Bermeo, A., & Sarango, B. (2020). Producción ganadera: la deforestación y degradación del suelo, una estrategia para el desarrollo sostenible. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 77–82. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Cifuentes, D (2022). Efecto de *azospirillum brasilense* en el crecimiento de *alnus aluminato* y *morella pubescens* en condiciones de laboratorio para la restauración de un bosque andino. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Corella, A., & Muñoz, J. (1997). Estudio de comercialización de la cera de laurel en Colombia. UDENAR. FACIA. Pasto, 42p.
- Coronado, R., & Prato, A. (2019). Identificación y crecimiento inicial de especies forestales usadas para el curado de tabaco Virginia. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(51).
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR (2016). Modificación al Plan de Manejo Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. Bogotá D.C. Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. (2004). Vegetación del territorio CAR, 450 especies de sus llanuras y montañas. A. Ovalle, & G. Mahecha, Edits. Bogotá. 872p
- Crespo, A., & Inga, D. (2017). Ecología de germinación de *Morella* sp., enfocada a la propagación y restauración de ecosistemas. [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Obtenido de: [\[Link\]](#)

- Crespo, A., & Ochoa, M. (2019). Experimentos de germinación con semillas de Rañas, *Viburnum triphyllum* (Benth) y sus implicaciones para la propagación y restauración. [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Das Virgens, P., Conceicao, T., Barbosa, R. (2019) Tetrazolium test to evaluate viability and vigour in *Genipa americana* seeds. *Seed Science and Technology*, 47(3), 307-318. [\[Link\]](#)
- De la Cuadra. (1993). Germinación, latencia y dormición de las semillas. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, Ed. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Duplancic, M., Martínez, E., Cavagnaro, B., Herrera, M., & Navas, A. (2015). Factores que inciden en la germinación de *Araucaria araucana* (Araucariaceae) del bosque xérico. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, 47(2), 71–82.
- Figuerola, J. (2000). Aspectos ecológicos de la germinación en especies del bosque templado-húmedo del sur de Chile, *Chloris Chilensis* N°2, Año 3. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Flórez, M., Delgado, C., & Flórez, G. (2011). Propagación y manejo en vivero de las especies cucharo (*Myrsine guianensis*), guayacán amarillo (*Tabebuia chrysantha*) y aguacatillo (*Clethra* sp) en el municipio de Popayán (Cauca). Obtenido de: [\[Link\]](#)
- García, A. (2021). *Semillas dispersadas por aves a través de trampas de semillas bajo perchas artificiales como una alternativa de fuentes semilleras para la restauración ecológica del bosque alto andino* (Tesis de maestría). [Pontificia Universidad Javeriana], Colombia. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- García, H. (2012). *Deforestación en Colombia: retos y perspectivas*. (Informe de investigación). Fondo de Promoción de las Investigaciones Científicas y Tecnológicas (Fedesarrollo). Obtenido en: [\[Link\]](#).
- Gallardo, M. (1993). El laurel de cera (*Myrica centena*). Mecanografiado, San Juan de Pasto. Parlamento de prevideo
- Garduza, B., Lagunes, L., Bautista, C., García, G., & Zaldívar, J. (2016). Enzymatic activity of α -d-galactosidase during the germination of *crotalaria longirostrata*. XXVII Reunión Científica Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Tabasco 2015 IV Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. pp. 161-165. Obtenido en: [\[Link\]](#)

- Gil, P., Melgarejo, D., Bravo, W., Solano, R., Camargo, N., Moreno, F., Ovalle, A., Muñoz, J., Morales, A., Reyes, J., Hernández, D., Medina, W., Gil, C., Jerez, R., Moreno, E., & Prado, L. (2018). Restauración ecológica del bosque altoandino en la vereda Montoya (Ventaquemada, Boyacá): Diagnóstico, diseño y propagación de especies nativas. En L. F. Prado-Castillo, P. A. Gil-Leguizamón, A. Sabogal-González, & M. E. Morales-Puentes (Eds.), *Restauración de ecosistemas de montaña: Cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero* (pp. [121-129]). Editorial UPTC. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- González, A., Magaña, M., & Sol, A. (2018). Servicios ecosistémicos brindados por *Tabebuia rosea* (Bertol.). *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 834-848
- Grande, D., & Polanco, C. (2007). Descripción anatómica de la madera de cuarenta especies del bosque alto-andino en Guasca, Cundinamarca. *Revista Colombia Forestal* Vol. 10 No. 20
- Guterman, Y. (2000). Maternal Effects on Seeds During Development. The Jacob Blaustein Institute for Desert Research and Department of Life Sciences, 59-84.
- Harijati, N., & Widoretno, W. (2018). The effects of scarification on seed germination of porang (*Amorphophallus muelleri*). *AIP Conf. Proc.*; 2019 (1): 020005. [\[Link\]](#)
- Hossain, M., Islam, K., & Rajasree, N. (2018). Pre-sowing treatments for improved germination and growth of two rare native species of Bangladesh. *J. For. Res.* 29, 1277–1282. [\[Link\]](#)
- Hoyos, J., & Cabrera, C. (1999). Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación del Laurel de cera *Myrica pubescens* H.&B. ex Willdenow. Convenio Andrés Bello. Santafé de Bogotá, Colombia
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). Resultados del monitoreo deforestación: 1. año 2020. 2. Primer trimestre año 2021. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2024). *Boletín de Detección Temprana de Deforestación. Primer trimestre de 2024*. Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono - SMByC. Bogotá, Colombia: IDEAM. Recuperado de: [\[Link\]](#).
- International Seed Testing Association (ISTA). (2019). International rules for seed testing

- Kolodziejek, J. (2017). Efecto de la posición de la semilla y los nutrientes del suelo sobre la masa de la semilla, la germinación y el crecimiento de las plántulas en *Peucedanum oreoselinum* (Apiaceae). *Informes científicos*, 7(1), 1-11.
- Lara, J. (2022). Determinación de tratamientos pregerminativos en semillas de *Morella pubescens* (humb. & bonpl. ex willd.) *wilbur* y *myrcianthes hallii* (o. berg) mcvaugh, Ibarra, Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Obtenido de [\[Link\]](#)
- León, M. & Varón, T. (1997). “Árboles del Valle de Aburrá.” En: Colombia 1997. Editorial Colina, Medellín, COL . 3500 pags.
- Leyva, J. (2021). Estudio De La Propagación De Algunas Especies Nativas Con Potencial Para La Restauración Asistida En Ecosistemas Altoandinos (Cundinamarca, Colombia). 1–78. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- López, F., Enríquez, J., y Pertuz, F. (2002). Respuesta de las semillas de *Myrica parvifolia* a la acción pregerminativa de la giberelina. *Colombia forestal*, 7(15), 63–67. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Luna, G., Delgado, I., & Burgos, L. (2022). *Árboles conocimiento local en el Corregimiento de Morasurco, Pasto - Nariño* (1ª ed.). San Juan de Pasto: Editorial Universidad de Nariño. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Luna, T., Wilkinson, K. M., & Dumroese, R. K. (2014). Seed germination and sowing options. In K. M. Wilkinson, T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, & R. K. Dumroese (Eds.), *Tropical Nursery Manual: A guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants* (pp. 163-183). Agriculture Handbook 732. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Obtenido en: [\[Link\]](#).
- Magnitskiy, S., & Plaza, G. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*, 25(1), 96-103. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Mancipe, C., Calderon, M., & Perez, L. (2018). Assessment of seed viability of 17 high andean tropical species by germination and tetrazolium tests. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Marín, J. (2018). El proceso de la restauración ecológica y su implementación en los bosques andinos de Colombia. [Monografía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. Obtenido en: [\[Link\]](#)

- Meneses, L. (2018). Caracterización de ecosistemas de referencia y propagación de especies nativas de interés para restauración ecológica en la jurisdicción de Corpochivor. Tesis de pregrado Ingeniería Forestal, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Melo, J. (2004). Evaluación de métodos para determinar la calidad de semillas, en laurel de cera (*Morella pubescens* H.& B. Ex Willd) Wilbur. Informe final de Trabajo de Grado. Universidad de Nariño, Pasto. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Mitchell, B. (2018). Evolutionary Biology : A Plant Perspective. Oxford University Press. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Montejo, L., Sánchez, J., Muñoz, B. (2004). Efecto de tratamientos de hidratación-deshidratación en semillas almacenadas de *Talipariti elatum*. Pastos y Forrajes, Vol. 27, No. 4, Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Morales, A. 2020. Viabilidad y germinación de semillas provenientes de un fragmento de bosque ripario de los andes colombianos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia P.59-64. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Moreno, D., & Cuartas, S. (2014). Sobrevivencia y crecimiento de plántulas de tres especies arbóreas en áreas de Bosque Montano Andino degradadas por ganadería en Colombia. Acta biol. Colombia. 2015;20(2):85-100. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Muñoz, J., & Luna, C. (1999). Guía para el cultivo, aprovechamiento y conservación de Laurel de Cera (*Myrica pubescens* H & B ex. Willdenow). Convenio Andrés Bello, Serie Ciencia y Tecnología, No 76. Bogotá. Colombia. 48p.
- Muñoz, J., Luna, C., & Cueva, K. (2004). El laurel de Cera una especie promisorio de los Andes. SOBOC Gráfico. Quito, Ecuador. 124p. Recuperado en: [\[Link\]](#)
- Navia, J., & Gaviria, F. (2002). Análisis de la producción de laurel de cera. (*Myrica pubescens* Humb & Bonpl. Ex willd) y de la comercialización de la cera en algunos municipios del departamento de Nariño, Colombia. 95p. [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Nieto, N. (2017). Innovación en el procesamiento de tres grupos de semillas forestales de importancia comercial en el país. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Obtenido en: [\[Link\]](#)

- Norden, N., Daws, M., Antoine, C., Gonzalez, M., Garwood, N., Chave, J. (2009) The relationship between seed mass and mean time to germination for 1037 tree species across five tropical forests. *Functional Ecology*, 23, 203–210.
- Oliveira X., Souza, T., Tumang, B., Alves, L., Machado, L., Melo, V., Changan, J., Fonseca, V. & Luis, M. (2019). Acción antiofídica de extractos de *Myrsine guianensis*, *Jatropha curcas* y *Zanthoxylum monogynum*. *Revista Cubana de Medicina Tropical* 71(2): e320.
- Ordoñez, A., Macuacé, R., & Ospina, R. (2017). Análisis de las Fuerzas del Mercado Dentro energético en la Vereda Cajete del Municipio De Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 15(1):116-122.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (Sin fecha). Capítulo 8 tratamiento previo de la semilla - Guía para la manipulación de semillas. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Ortiz, B., & Romero, L. (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" Bogotá, Colombia. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Padilla, J., & Tenecela, J. (2024). Evaluación de métodos de almacenamiento de semillas de cinco especies forestales nativas en la provincia de Imbabura [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de [\[Link\]](#)
- Palomeque, X., Maza, A., Iñamagua, J., Günter, S., Hildebrandt, P., Weber, M., & Stimm, B. (2017). Variabilidad intraespecífica en la calidad de semillas de especies forestales nativas en bosques montanos en el sur del Ecuador: Implicaciones para la restauración de bosques. *Revista De Ciencias Ambientales*, 51(2), 52-72. [\[Link\]](#)
- Pammenter, N., & Berjak, P. (2013). Desarrollo de la comprensión de las semillas recalcitrantes y las implicaciones para la conservación *ex situ*. *Biotecnología Vegetal*, 13(3). Recuperado de [\[Link\]](#)
- Pariatanta & Huanambal. (2024). Identificación de árboles semilleros de *Myrsine* sp., en poblaciones naturales de los caseríos Quilagan y el Guayo, Distrito de Querocotillo, Provincia de Cutervo [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental]. Repositorio institucional UNJ. Obtenido de: [\[Link\]](#)

- Perez, F., & Pita, J. (2016). Viabilidad, vigor, longevidad y conservación de semillas. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Perez, L., Rodriguez N., Vargas, O. & Melgarejo L. (2014). Germinación y dormancia de semillas.
- Patiño, C., Jiménez, J., Marín, F., Palomeque, X. (2019). Respuesta de semillas de tres especies nativas altoandinas a diferentes condiciones de almacenamiento. *Maskavana*, Vol. 10, No. 2, 64–75. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Pipinis, E., Milios, E., Kitikidou, K., & Radoglou, K. (2016). Treatments for seed germination improvement in *Prunus azorica*, *Frangula azorica* and *Morella faya*, three native species of Azores Islands. *Letras de botánica*, 163 (3), 329-335. doi:10.1080/23818107.2016.1206035
- Prado, L., Gil, P., Sabogal, A., & Morales, M. (2018). *Restauración de ecosistemas de montaña: Cultura y ecología desde el páramo y el piedemonte llanero*. Editorial UPTC. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Primack, R., & Kang, H. (1989). Measuring Fitness and Natural Selection in Wild Plant Populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 367–396. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Reguero, T., Calle, J., & Mata, R. (1989). Estudio fitoquímico y actividad biológica de la corteza de *Rapanea guianensis* Aubl Det. Wordsck. *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, 17(1): 57-61
- Riaño, K., Briones, O., Pérez, B. (2015) Spore germination of three tree fern species in response to light, water potential, and canopy openness. *American Fern Journal* 105: 59-72.
- Romero, A. (2005). Propuesta metodológica para seleccionar especies pioneras leñosas con fines de restauración ecológica dentro de la reserva biológica cachalú (Encino, Santander). *Revista Colombia Forestal* 9(18):52-59
- Rosabal, L., Martínez, L., Reyes, Y., Rodríguez, J., & Núñez, M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 24-35. Recuperado en 17 de octubre de 2024, de [\[Link\]](#)
- Salazar, F. (2010). Apoyo en las actividades de manejo de semillas forestales de especies nativas provenientes de fuentes semilleras locales en el Vivero Forestal La Florida de la Corporación Autónoma Regional del Cauca. Tesis de grado Ingeniería Forestal, Universidad del Cauca, Popayán

- Salazar, S., Quintero, J., & Botello, E. (2020). *Optimización de la prueba de tetrazolio para evaluar la viabilidad en semillas de Solanum lycopersicum L.* Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Sánchez, J., Orta, R., & Muñoz, B. (2001). Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*, 25(1), 67-91. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Sánchez, J., Pernús, M., Torres, Y., Barrios, D., & Dupuig, Y. (2019). Dormancia y germinación en semillas de árboles y arbustos de Cuba: implicaciones para la restauración ecológica / Dormancy and germination in tree and shrub seeds of Cuba: implications for ecological restoration. *Acta Botánica Cubana*, 218(2). Obtenido de [\[Link\]](#)
- Santana, D., & Ranal, M. (2006). Linear correlation in experimental design models applied to seed germination. [Seed Science and Technology](#), Volume 34, Number 1, pp. 233-239(7). Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Silva, M., & Restrepo, S. (2012). Compendio de calendariosapícolas de Cauca, Huila y Bolívar. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 56p.
- Sisalima, R (2021). Aplicación de consorcios microbianos en la germinación de *Dodonaea viscosa*, *Morella pubescens* e *Ingainia insignis* para áreas degradadas en La Josefina. Universidad Católica de Cuenca. Obtenido en: [\[Link\]](#)
- Sobrevilla, J., López, M., López, A., & Romero, L. (2013). "Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston. University of Nebraska - Lincoln, 83-95.
- Sosa, D., Chávez, J., Mondragón, D., Estrada, J., Ramírez, P. (2012) Viabilidad y germinación de semillas de seis especies de *Tillandsia* (bromeliaceae) de Oaxaca, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(SPE5), 37-42.
- Statwick, J. (2016). Germination pretreatments to break hard-seed dormancy in *Astragalus cicer* L. (Fabaceae) *PeerJ* 4:e2621 [\[Link\]](#)
- Suárez, D., & Melgarejo, L. (2010) Biología y germinación de semillas. Experimentos en fisiología vegetal, 13-25.

- Torres, J., Medina, H., Pinilla, H., Córdoba, E., & Martínez, M. (2017). Propagación en vivero de la especie forestal *Dipteryx oleífera* Benth mediante semillas. *Revista Politécnica*, 13(24), 19–26. Recuperado de: [\[Link\]](#)
- Toro, J. (2012). Árboles de las montañas de Antioquia. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA. Medellín: Corantioquia, 2010. 260 p
- Trejos, A. (1960). Estudio sobre “El palomo, torcaz, roble, mimillo o palomito” (*Myrica* sp). Ministerio de cría. Dirección de Recursos Naturales Renovables. División de Ejecución de Programas. Caracas, Venezuela.
- Trujillo, E. (2001). Madurez y maduración de frutos y semillas. En Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal-CONIF, Recolección y procesamiento de semillas forestales. 2 ed., Vol. Serie Técnica 34. Bogotá. 120p
- Urgiles, N., Haug, I., Setaro, S., y Aguirre N. (2016). Introduction to Mycorrhizas in the Tropics with emphasis on the Montane Forest in Southern Ecuador. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Varela, S., & Arana, V. (2010). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. En S. A. Varela & A. Aparicio (Eds.), *Sistemas Forestales Integrados: Silvicultura en vivero* (Cuadernillo N° 3). Área Forestal - INTA EEA Bariloche. Obtenida en: [\[Link\]](#).
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246. Obtenida en: [\[Link\]](#).
- Villalba, J., Avella M., & Ospina, R. (2021). Silvicultura de especies americanas: *Myrsine guianensis*. En F. C. M. Piña-Rodrigues & J. M. S. da Silva (Eds.), *Silvicultura tropical: O potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais* (pp. 569-575). Ed. dos Autores. Obtenido de: [\[Link\]](#).
- Villalobos, M., Carballo, J., González, E., Uribe, J., & Dzib, Benito., (2021). Efecto de tratamientos pregerminativos en la emergencia de plántulas de *Guaiacum sanctum* L. (Zygophyllaceae). *Acta universitaria*, 31, e3060. Obtenido de: [\[Link\]](#)
- Viveros, H., Hernández, J., Velasco, M., Robles, R., Ruiz, C., Aparicio, A., & Hernández, M. (2015). Análisis de semilla, Tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Y su crecimiento inicial. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(30), 52-65 [\[Link\]](#)

Weisse, M., Goldman, E., & Carter, S. (4 de abril de 2024). *Forest Pulse: La información más reciente sobre los bosques del mundo*. World Resources Institute. Obtenido de: [\[Link\]](#)