UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación de rasgos funcionales de semillas de especies del bosque seco tropical

Jeniffer Viviana Díaz Rodríguez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias, Departamento de Biología
Bogotá, Colombia
2024

Evaluación de rasgos funcionales de semillas de especies del bosque seco tropical

Jeniffer Viviana Díaz Rodríguez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Biología

Director (a):

Ph.D. Fagua Álvarez Flórez

Codirector (a):

MSc. Carolina Alcázar Caicedo

Línea de Investigación:

Fisiología vegetal

Grupo de Investigación:

Fisiología del estrés y biodiversidad en plantas y microorganismos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Departamento de Biología

Bogotá, Colombia

2024

Este trabajo está dedicado a todos los ilusos, locos y soñadores que, como yo, aún creemos que desde nuestras pequeñas contribuciones es posible salvar el mundo ¡Porque sí nacimos pá semilla!

Gracias por leer este pequeño aporte, que no es más que un pequeño escalón para que los siguientes investigadores puedan divisar una alternativa que puede (o no) ser de utilidad.

'No se fracasa si existe un comienzo'
Control machete.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mi mamá y mi hermano, sin su apoyo no habría podido seguir el camino que me apasiona, estudiando la vida desde el pequeño universo de las semillas y dejándome cautivar por cada experiencia.

A mis amigos Paula, Diana, Diego, Sofía, Daniel personas que estuvieron presentes en diferentes momentos de este camino y me alentaron a continuar, dándome palabras de ánimo, escuchándome, leyéndome, pequeñas grandes acciones que contribuyeron a culminar con éxito este bello proceso.

A mis compañeros de campo Daniela, Kathe, Jaime, Liz, Nicolás, David, Miguel, que hicieron del campo un perfecto escenario para volvernos cómplices, desde cada una nuestras ramas, hacia un ideal en común que es la conservación de nuestra biodiversidad.

A mis futuros colegas Viviana, Carlos, Alex, Laura, por leer las varias versiones de este documento, que nunca estará perfecto porque siempre hay algo por mejorar, pero que desde sus comentarios contribuyeron inmensamente a su (y mi) constante mejoría.

A la Universidad Nacional de Colombia, mi alma mater, y a las profesoras Fagua Álvarez y Beatriz Salgado, por apoyarme, escucharme y ayudar a llevar mis ideas a esta realidad. Especialmente la profe Fagua, que viene confiando desde el pregrado.

Y, por último pero no menos importante, al Instituto Alexander von Humboldt y la CAR, por su confianza al ofrecerme este proyecto financiado para poder realizar mi tesis, y el cual puedo decir que gracias al trabajo interinstitucional culminamos con éxito.

Resumen

Evaluación de rasgos funcionales de semillas de especies del bosque seco tropical

El bosque seco tropical es uno de los ecosistemas más transformados en Colombia. La propagación de especies vegetales es fundamental para su restauración, pero el conocimiento sobre los rasgos funcionales de las semillas y los procesos de germinación en especies nativas es escaso y difuso. Con el propósito de contribuir a la conservación y propagación de especies arbóreas del bosque seco tropical del Magdalena medio, en la presente investigación se caracterizaron rasgos funcionales morfológicos y de la germinación de las semillas de once especies vegetales nativas. La caracterización incluyó la descripción detallada de los rasgos morfo-anatómicos de las semillas; la identificación de los rasgos que reúnen la mayor variación a través de un Análisis de Componentes Principales (ACP); y el agrupamiento de las especies basado en la similitud de sus rasgos, mediante un análisis de conglomerados. Además, se seleccionaron cinco especies para evaluar dos tratamientos pregerminativos (imbibición y escarificación), y se evaluaron tres indicadores: porcentaje de germinación, velocidad y mediana del tiempo medio de germinación. Entre los rasgos más relevantes, se destacaron el diámetro y grosor de la testa, la viabilidad, y la tolerancia a la desecación. Además, se identificaron tres grupos de especies según el tamaño y peso de las semillas. El tratamiento de imbibición aumento la germinación de las especies *Ac. nigricans, G. americana,* y *S. saponaria*; mientras que el tratamiento de escarificación favoreció a las especies: *P. latifolia* y *Q. odoratissima*. Estos resultados ofrecen alternativas para obtener un mayor número de plántulas en un tiempo reducido, facilitando su implementación en procesos de propagación y restauración en la región.

Palabras clave: Restauración, Cundinamarca, semillas nativas, viveros, propagación.

Abstract

Evaluation of seed functional traits for tropical dry forest plant species

The tropical dry forest is one of the most transformed ecosystems in Colombia. The propagation of plant species is essential for their restoration, but the knowledge about the functional seed traits and germination processes in native species is scarce and diffuse. To contribute to the conservation and propagation of tree species of the tropical dry forest of the middle Magdalena, morphological functional and germination of seed traits of eleven native plant species were characterized. The characterization included the detailed description of the morpho-anatomical traits of the seeds; identifying the traits that show the most variation using a Principal Component Analysis (PCA); and the species grouping based on the similarity of their traits through a cluster analysis. Besides, five species were selected to test two pre-germination treatments (imbibition and scarification), to evaluate through three indicators: germination percentage, speed, and average time of germination. Among the most relevant traits found in this study are the diameter and thickness of the seed coat, the viability, and the tolerance to desiccation. Additionally, three groups of species were identified according to the size and weight of the seeds. The imbibition treatment improves the germination of the species: *Ac. nigricans, G. americana,* and *S. Saponaria*; while the scarification treatment favored the species: *P. latifolia* and *Q. odoratissima*. These results offer alternatives to obtain a greater number of seedlings in a reduced time, facilitating their implementation in tropical dry forest restoration and propagation processes at the region.

Keywords: Restoration, Cundinamarca, native seeds, nurseries, propagation.

Contenido

Resumen ..... **VII**

1. INTRODUCCIÓN **13**

2. OBJETIVOS **16**
Objetivo general 16
Objetivos específicos 16

3. MARCO TEÓRICO **17**

3.1 El Bosque seco tropical **17**
3.2 Rasgos funcionales en semilla 19
3.3. Germinación 21

4. METODOLOGÍA **25**
4.1 Área de estudio 25
4.2 Selección de especies y diseño de muestreo 25
4.3 Medición de rasgos funcionales en semillas de 11 especies de bs-T 28
4.4 Tratamientos de germinación y diseño experimental: 31

5. ANALISIS DE DATOS **33**
5.1 Medición de rasgos funcionales en semillas de 11 especies de bs-T 33
5.2 Tratamientos pregerminativos realizados en semillas de especies de bs-T 34

6. RESULTADOS **35**
6.1 Caracterización de rasgos funcionales en semillas de 11 especies arbóreas del bs-T 35
6.2 Caracterización de tratamientos pre germinativos en especies de bs-T 40
6.2.1 Porcentaje de germinación 40
6.2.2 Velocidad media de la germinación (VMG) 41
6.2.3 Mediana del tiempo medio de germinación (T50) 42

7. DISCUSIÓN **44**
7.1 Caracterización de rasgos funcionales en 11 especies arbóreas del bs-T 44
7.2 Caracterización de tratamientos pregerminativos en 5 especies arbóreas de bs-T 48

8. CONCLUSIONES **52**

9. ANEXOS **53**
A. Descripción morfológica de semillas de 11 especies del bs-T 53

B. Promedio de los rasgos funcionales obtenidos para las 11 especies del bs-T. . 61
C. Loadings y proporción de la varianza del análisis de componentes principales de los rasgos funcionales de las semillas de 11 especies del bs-T..... 62
D. Correlación de Spearman entre los rasgos morfológicos de 11 especies del bs-T…… 63
E. Promedio de los índices evaluados en la germinación de las cinco especies nativas del bs-T.. 64
F. Datos correspondientes a los modelos lineales y lineales generalizados con base en el porcentaje de germinación. 64
G. Datos correspondientes a los modelos lineales con base en la velocidad media de germinación.. 65
H. Datos correspondientes a los modelos lineales con base en la mediana del tiempo medio de germinación.. 65
I. Correlación de Spearman entre los rasgos funcionales de 11 especies del bs-T. 65

10. Bibliografía 67

Lista de figuras

Figura 1 Box plots correspondientes a los 8 rasgos evaluados en las 11 especies. Letras diferentes indican diferencias significativas, prueba post-hoc de Duncan (alfa=0.05). **a.** De (diámetro equivalente) **b.** Peso**. c.** Humedad. **d.** E/S (Largo embrión/largo de semilla). **e.** E/e (Área embrión/área de endospermo). **f.** Grosor de testa. **g.** Viabilidad **h.** Tolerancia (Tolerancia a la desecación). Anexo B. 36
Figura 2. Análisis de componentes principales (ACP) del promedio de los valores de los rasgos funcionales por especie. Los porcentajes de variación explicados por los primeros dos ejes del PCA se incluyen en el gráfico. Ver las abreviaciones en Tabla 3..... 38
Figura 3. Dendograma realizado utilizando el método del índice de similitud de Gower de los rasgos estructurales de las semillas de las 11 especies. 39
Figura 4. Graficas de barra del porcentaje de germinación en el área con polisombra para las cinco especies evaluadas. Letras diferentes indican diferencia significativa (Anexo E). 40
Figura 5 Gráficas tipo box plot de la VMG para las cinco especies evaluadas. Letras diferentes indican diferencia significativa (Anexo G)..... 41
Figura 6 Gráficas tipo box plot del TMG para las cinco especies evaluadas. Letras diferentes indican diferencia significativa (Anexo H)..... 42

Lista de tablas

Tabla 1 Especies nativas del bosque seco tropical recolectadas. 26

Tabla 2. Rasgos funcionales de las semillas del bosque seco tropical. E/S: relación largo del embrión largo de la semilla. E/e: relación área del embrión con área de la semilla. .. 29

Tabla 3. P = número de semillas germinadas; T = tiempo germinación; n = día último control; x1, x2, x15 = semillas germinadas día 1, 2,...n; d1, d2,... dn = días incubación, Xi = semillas germinadas por día de revisión y Xn = número total de semillas germinadas el último día de control. Fuente: Ranal y García De Santana, 2006. 32

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, las estrategias de restauración ecológica están basadas en obtener un listado de especies, sus trayectorias sucesionales registrado en el potencial de regeneración, y seleccionar las especies más importantes bajo una escala de atributos que pueden ser útiles en los sitios que se van a restaurar (Vargas, 2011). Para mejorar los resultados en la selección de especies, es imperativo repensar este proceso en la ecología de la restauración para incluir enfoques funcionales, y así, crear comunidades de plantaciones con una amplia variedad de especies, mejor adaptadas y, probablemente más resilientes (Montoya et al., 2012; Perring et al., 2015, Cairns, 2002; Choi, 2004; Kollmann et al., 2016). La restauración funcional consiste en seleccionar las especies en función de sus rasgos funcionales en lugar de su identidad taxonómica, Ostertag et al., (2015). Utilizar el enfoque funcional durante todo el proceso de restauración puede catalizar el establecimiento de ecosistemas estables y funcionales como lo han mostrado los trabajos de Thorpe y Stanley (2011), Rosenfeld y Müller (2020) entre otros. Los rasgos funcionales, ya sean morfológicos, fisiológicos y/o fenológicos, juegan un papel crucial en el desempeño de las plantas al influir en el crecimiento, reclutamiento y mortalidad, lo que impacta directamente en su éxito reproductivo y supervivencia (Violle et al., 2007). En últimas, este enfoque permite ampliar el conocimiento acerca de la reproducción de especies nativas con fines de restauración ecológica (Castañeda et al., 2006) debido a que cada vez es mayor la necesidad de contar con material vegetal de buena calidad que permita desarrollar proyectos a mayor escala.

Para lograr una restauración exitosa, es esencial que los profesionales integren modelos para la adquisición de semillas y la planificación de su uso desde las etapas iniciales del proyecto; esto es clave para garantizar que la disponibilidad de semillas pueda cubrir la demanda. La planificación puede resultar bastante compleja, ya que debe tener en cuenta factores como la variabilidad estacional del clima local y la fenología de las plantas. Además, debe adaptarse a cada caso específico, ya que la cantidad de semillas necesarias

y la diversidad de especies en las mezclas variarán según la escala y los requisitos de cada ubicación del proyecto (Pedrinir et al., 2020). Por lo tanto, la caracterización de los rasgos funcionales de las semillas es de gran importancia para comprender el ciclo de vida y las estrategias reproductivas de las especies vegetales (Jiménez-Alfaro et al., 2016, Duncan et al., 2019) aportando herramientas para optimizar su conservación y propagación. Dentro de los rasgos de las semillas, se destacan tres categorías propuestas por Jimenez-Alfaro et al., (2016): morfológicos, biofísicos y de germinación. Los rasgos morfológicos están relacionados con la dispersión y también hacen referencia a otras propiedades como la persistencia en el suelo y la respuesta al fuego o al agua (Fenner y Thompson, 2005; Kleyer et al., 2008). Los rasgos biofísicos reflejan las propiedades fisicoquímicas de la testa, el endospermo o el embrión (Jimenez et al., 2016). Por último, los rasgos de germinación están relacionados con el tiempo y las condiciones necesarias para que la semilla germine, indicando procesos fisiológicos esenciales controlados por el ambiente (Lambers et al., 2008). Estos rasgos son fundamentales para la conservación in situ y ex situ, donde el conocimiento detallado de las semillas permite aplicar tratamientos pregerminativos específicos (Di Sacco et al., 2020), supliendo la necesidad de plántulas a largo plazo, y determinando el almacenamiento óptimo con el fin de garantizar la conservación de especies nativas y la disponibilidad de semillas y plántulas (Merritt y Dixon, 2011).

El bosque seco tropical (bs-T) es uno de los ecosistemas tropicales más amenazados y degradados a nivel mundial (Banda et al., 2016). Su biodiversidad única adaptada a condiciones de estrés hídrico y caracterizada por altos niveles de endemismo (Pizano et al., 2017), junto con los servicios ecosistémicos que proporciona (Cárdenas et al., 2020) y su actual estado de transformación y degradación a nivel mundial (Campo et al., 2023), le confiere una alta prioridad para su restauración ecológica (Strassburg et al., 2020). En Colombia, este ecosistema ha experimentado una disminución alarmante, conservando menos del 8% de su cobertura original (García et al., 2014). Según el reporte del instituto Humboldt en el 2016, el bs-T es el menos estudiado en cuanto a rasgos reproductivos de semillas y plántulas y recomienda completar los vacíos de información sobre sus dinámicas ecológicas. Teniendo en cuenta esta falta de información el objetivo de este trabajo es establecer una línea base sobre rasgos funcionales de semillas de 11 especies arbóreas de bs-T del valle del Magdalena y evaluar su respuesta a la germinación proporcionando resultados que orienten a la conservación de semillas y su propagación con fines de

regeneración y restauración del bosque. La hipótesis son i) las especies recolectadas presentarán diferencias en tamaño, masa, características del embrión, diámetro esto debido a que se recolectarán de relictos de bosques en diferentes estados de sucesión, ii) los tratamientos pregerminativos aumentarán la velocidad y el porcentaje de semillas germinadas, iii) algunas de las especies recolectadas presentaran características de semillas ortodoxas que permitan su conservación ex situ, ya que a medida que el hábitat es más seco hay más probabilidad de tener especies con semillas ortodoxas (Tweedle et al., 2003).

El presente trabajo se enmarca en el proyecto: “Formulación y desarrollo de estrategias de conservación ecosistémica ex *situ del bosque seco tropical en zonas priorizadas de la provincia del alto Magdalena”*, del Instituto Alexander von Humboldt, CAR, UNAL.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar los rasgos funcionales y la germinación de especies arbóreas del bs-T para promover su propagación en procesos de restauración en el alto Magdalena, Cundinamarca, Colombia.

Objetivos específicos

- Describir algunos rasgos funcionales morfológicos de las semillas de once especies arbóreas del bosque seco tropical.
- Evaluar la germinación de cinco especies arbóreas del bosque seco tropical y su respuesta a dos tratamientos pregerminativos.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 El Bosque seco tropical

El bosque seco tropical (bs-T), según la clasificación de Holdridge, se localiza en áreas con temperatura anual superior a 17°C, donde la evapotranspiración supera la precipitación, que ronda entre 250 y 2000 mm por año (Holdridge 1967, Murphy y Lugo, 1986). En un sentido más amplio, el bs-T es un bioma forestal que se manifiesta en las tierras bajas de las zonas tropicales, destacándose por una marcada estacionalidad de lluvias con períodos secos de varios meses (Mooney et al., 1995). Esta estacionalidad limita la productividad primaria y la biodiversidad de las plantas, las cuales exhiben menor altura en comparación con los bosques tropicales más húmedos (Pennington et al., 2000). Simultáneamente, esta estacionalidad ha conducido a diversas adaptaciones morfológicas y fisiológicas, como la modificación de las hojas en espinas y la sincronización de la floración y fructificación con los períodos de sequía o lluvias (Pennington et al., 2000; Pennington et al., 2009). Como resultado de las presiones de selección asociadas a esta marcada estacionalidad, el bs-T exhibe niveles significativamente altos de endemismo y diversidad beta (Dirzo et al., 2011).

La distribución original del bosque seco en Colombia comprendía seis regiones: el Caribe, los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, los enclaves secos del norte de los Andes, los valles de los ríos Dagua y Patía en el suroccidente del país, y el piedemonte y los afloramientos rocosos de los Llanos orientales (Etter 1993). Se estima que su extensión original era de unos 80,000 km^2, lo que representaba algo más del 7% del territorio nacional (Díaz, 2006).

Los bosques secos del valle del Magdalena están en los departamentos de Huila, Tolima, Cundinamarca y un pequeño sector al oriente del departamento de Caldas, en un área de aproximadamente 130,000 ha. Sólo un 36% de esta área son bosques de galerías y arbustales en diferentes estados de conservación que se distribuyen de manera dispersa,

donde el mayor número de remanentes se encuentran en los municipios de Alpujarra, Coyaima, Piedras y Coello (Departamento de Tolima) y Aipe (Departamento de Huila) (Pizano y Garcia, 2014). Para la región del Magdalena, en el área del Distrito de Manejo Integrado se han identificado un total de 533 especies de plantas vasculares distribuidas en 348 géneros y 88 familias (López et al., 2019).

Las presiones más significativas sobre estos parches de bosque seco son la presencia de cultivos de arroz, el fuego y la ganadería. Esta introducción de ganado bovino a las zonas de bosque seco en la región del Caribe, los valles del Cauca y Magdalena fue la principal causa de transformación del bs-T (Díaz, 2006). La progresiva degradación de las coberturas en sus componentes arbóreos y arbustivos supone un proceso de perdida de la composición, tamaño y estructura de los parches. Como consecuencia, es frecuente encontrar suelos degradados por el pisoteo del ganado y por la extracción de material de canteras donde dominan especies como la ortiga (*Cnidoscolus urens*), el pelá (*Vachellia farnesiana*), el cují (*Pithecellobium dulce*), el angarillo (*Chloroleucon mangense*), el ortiguillo (*Acalypha macrostachya*) y *Croton schiedeanus*, las cuales son indicadores de áreas degradadas (Pizano y Garcia, 2014).

Este ecosistema en Colombia no sólo está completamente fragmentado, además se encuentra en estados sucesionales intermedios, rodeado por matrices de transformación (Miles et al., 2006, Portillo-Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010). Esta situación pone en grave riesgo a la biodiversidad asociada al bs-T y, por lo tanto, a los procesos ecológicos que aseguran la funcionabilidad de este bioma, a los servicios de captura de carbono, ciclaje de nutrientes, protección del suelo a la erosión, regulación de agua, polinización, control biológico de plagas y generación de alimentos y madera que proveen los bs-T (Maass et al., 2005, Portillo- Quintero y Sánchez-Azofeifa, 2010). Para asegurar la conservación de los bosques secos, es necesario incrementar los esfuerzos de investigación que nos permitan un mejor entendimiento sobre su ecología, funcionamiento, valor ecosistémico (Sánchez-Azofeifa et al., 2005) y así generar proyectos de restauración ecológica que promuevan su correcta recuperación.

3.2 Rasgos funcionales en semilla

Los rasgos funcionales son características medibles que modulan indirectamente el crecimiento, la supervivencia y rendimiento reproductivo (Violle et al., 2007), lo que determinará diferentes procesos ecológicos a nivel de toda la comunidad (Roscher et al., 2012). Adicionalmente, pueden tener varios atributos que son diferentes expresiones o estados de un rasgo (Lavorel y Garnier, 2002; McIntyre et al., 1999). Entre los rasgos relacionados con sus estrategias ecológicas se encuentran principalmente: los rasgos vegetativos y los rasgos regenerativos. Los rasgos vegetativos son todas aquellas características medibles en las hojas tales como área de la hoja, contenido de nutrientes, contenido de materia seca foliar, densidad de estomas, contenido de humedad, espesor foliar, tipo de hoja, entre otros; estos rasgos influencian procesos en los ecosistemas como la productividad primaria, la descomposición y el ciclaje de nutrientes (Pérez-Harguindeguy, et al., 2013). Por su parte, los rasgos regenerativos, son aquellos que promueven procesos como la germinación y dispersión y, aunque están poco estudiados, pueden llegar a explicar los patrones de ensambles de las comunidades de plantas, predecir los resultados de la restauración, y evidenciar la capacidad de los individuos para colonizar diferentes ambientes (Cabrera y Ramírez, 2014; Larson y Funk 2016).

Los bosques secos tropicales hacen gala de una variedad de características morfológicas en sus semillas, posiblemente como resultado de la adaptación a las condiciones de mayor aridez que caracterizan a estos bosques y a las estrategias de dispersión utilizadas por cada una de las especies (Romero-Saritama y Pérez Ruiz, 2016). Uno de los primeros rasgos que podemos identificar al momento de recolectar semillas es el número de semillas por fruto, este también ha sido asociado con el tipo de fruto y el comportamiento de almacenamiento de las semillas (Hong y Ellis, 1996). Uno de los rasgos morfológicos más estudiados en la ecología de semillas es el tamaño de las semillas, por ser uno de los elementos que ha evolucionado (Moles et al., 2005) asociado a otros rasgos morfológicos y fisiológicos (Venable y Brown 1988; Rees, 1995). El tamaño, junto con la masa y el contenido de humedad de las semillas, son rasgos asociados con la tolerancia a la desecación y germinación (Daws et al., 2005). Además, la masa ha sido otro rasgo relacionado de alguna manera con el comportamiento de conservación de las semillas y la tolerancia a la desecación (Daws et al., 2005; Lan et al., 2014), la cual es la capacidad que tiene la semilla de algunas especies para recibir un tratamiento de secado antes de

alcanzar su madurez fisiológica y luego germinar (Leprince et al., 1993), garantizando la supervivencia de la semilla durante los periodos con poca disponibilidad de agua.

También se han medido rasgos cualitativos como la textura de la cubierta (testa) la cual puede ser clasificada como dura-impermeable o blanda permeable en función de la absorción, o no, de la humedad (Varela y Albornoz, 2013). En regiones áridas, donde las temperaturas son altas y las precipitaciones variables o impredecibles, la producción de semillas duras en algunas especies es un mecanismo de supervivencia (Baskin y Baskin, 2014). Otro rasgo importante es el relacionado con la información de morfología interna de las semillas como tipo de embrión y presencia o ausencia de endospermo también podrían contribuir con directrices para la conservación de las especies leñosas; los rasgos internos de las semillas generalmente han sido relacionados con el comportamiento germinativo y la clase de latencia en las semillas (Baskin y Baskin, 2014; Romero-Saritama, 2015). Particularmente en bosque seco se han encontrado especies que producen semillas maduras con embriones pequeños, poco desarrollados y con abundante endospermo que pueden conferir latencia morfológica o morfofisiológica (Romero-Saritama y Pérez Ruiz, 2016). En contraste, en este mismo ecosistema también se encuentran semillas de especies que producen un embrión bien desarrollado, su germinación es más rápida al no tener que pasar la etapa de crecimiento post dispersión (Forbis et al., 2002; Romero-Saritama y Pérez-Ruiz, 2016).

En grandes áreas deforestadas, como las encontradas en el bosque seco tropical, la regeneración exitosa de las especies no sólo depende de la etapa inicial de dispersión de semillas, sino también de la germinación, el establecimiento, y la supervivencia de las plántulas. La mayoría de las semillas no encuentran las condiciones para germinar, son depredadas (Nepstad et al., 1996), inviables, o germinan, pero no se desarrollan por diversos factores. De hecho, la proporción de semillas que logran germinar a plantas es realmente muy baja. En algunos casos las plántulas ya germinadas son afectadas negativamente por las capas de hojarasca sobre el suelo del bosque (Molofsky y Augspurger, 1992). En este caso la germinación de las semillas puede darse, pero su establecimiento se dificulta porque las plántulas no alcanzan a tener contacto con el suelo antes de la llegada de la temporada seca (Pizano y Garcia, 2014). Tomando en cuenta las

consideraciones anteriores, los bosques secos se pueden regenerar a través de mecanismos como el rebrote, los bancos de semillas y la dispersión de semillas. Estos procesos no son exclusivos del bs-T, pero se pueden fomentar en este tipo de bosque por medio del manejo de factores claves como la disponibilidad de agua en el suelo (Pizano y Garcia, 2014).

3.3. Germinación

La germinación se considera como un proceso que se desencadena con la hidratación (imbibición) de la semilla y el inicio de la expansión de la radícula (Evenari et al., 1957). La embriogenia y la germinación son entonces, etapas sucesivas en el desarrollo del nuevo esporofito, separadas por un periodo de relativa inactividad metabólica llamado letargo. (Bewley y Black, 1978, 1982, 1994; Flores, 1999). El proceso de germinación involucra la transición de las células de un estado de deshidratación y baja actividad metabólica, a un estado hidratado y de alta actividad metabólica. El agua es absorbida por muchas semillas en una manera trifásica: imbibición, germinación (en sentido estricto) y el desarrollo del embrión (Bewley y Black, 1994; Tissaoui y Côme, 1975). Así, después de la absorción inicial de agua, la fase de desarrollo está caracterizada por cambios relativamente pequeños en el contenido de agua de las semillas hasta que termina con el inicio del crecimiento del embrión (Johnson, 1999). Durante este tiempo, se reanuda el metabolismo energético, se activan los procesos respiratorios y el ciclo celular puede iniciarse, mientras que los eventos asociados con la maduración de la semilla se suprimen (Bray, 1995).

Dependiendo de la tolerancia a la desecación que presenten las semillas se pueden clasificar en semillas ortodoxas o recalcitrantes. Las semillas ortodoxas (Roberts, 1973) adquieren tolerancia a la deshidratación durante su desarrollo y pueden almacenarse en estado seco, por períodos predecibles y bajo condiciones específicas. Por lo general, estas semillas pasan por un período de secado durante su maduración y se desprenden a un bajo contenido de humedad, el cual está en equilibrio con la humedad relativa (HR) prevaleciente. El equilibrio del contenido de agua a cualquier humedad relativa en particular se determina por la composición de la semilla, pero todas las semillas ortodoxas pueden resistir la deshidratación a aproximadamente 5% (0.053g H_2Og^{-1} material seco [g g^{-1}]), aun cuando el secado de maduración no se haya completado antes del

desprendimiento. Cualquier semilla que no se comporte de esta manera no es ortodoxa, y, de hecho, las semillas de un gran número de especies tropicales pueden ser no ortodoxas (Smith et al.,2010); esto depende principalmente de su dinámica climática, en las zonas tropicales y subtropicales, la proporción de especies con semillas sensibles a la desecación disminuye a medida que el hábitat se vuelve más seco (Tweedle et al., 2003).

Por otro lado, las semillas recalcitrantes son aquéllas que pasan por un corto o ningún secado de maduración, y permanecen sensibles a la deshidratación, tanto en su desarrollo como después de su dispersión. Tales semillas se desprenden hidratadas, aunque el contenido de agua puede estar, generalmente, en cualquier parte del rango de 0.43 a 4.0 g g^{-1}, que es de 30 a 80% en base de masa húmeda. Las semillas recalcitrantes no son igualmente sensibles a la deshidratación, de modo que los grados variables de deshidratación se toleran dependiendo de la especie. Esto implica que los procesos o mecanismos que confieren tolerancia a la deshidratación son características desarrolladas o expresadas en semillas recalcitrantes. Se ha sugerido la existencia de diversos mecanismos involucrados en la adquisición de la tolerancia a la deshidratación, y el mantenimiento de la integridad de las semillas ortodoxas deshidratadas, debiéndose reconocer que cualquiera de éstos puede estar ausente o presente, pero ineficaces en las semillas recalcitrantes (Smith et al.,2010).

Con frecuencia, la semilla está bien equipada para sobrevivir largos períodos de condiciones desfavorables, y el embrión está protegido por una o varias capas de otros tejidos. Estos incluyen el endospermo, el perispermo, tegumentos y tejidos del fruto, los cuales protegen al embrión de daño físico y lo nutren (en el caso del endospermo y perispermo); cada parte contribuye a mantener viable la semilla después de la abscisión del fruto. Estas capas circundantes juegan un papel importante en la regulación de la latencia y la germinación (Smith et al.,2010). Para las semillas de especies de árboles tropicales que maduran y se dispersan durante la estación seca y caliente, la latencia evita la germinación hasta la llegada de la estación lluviosa. La latencia impuesta por la testa se encuentra comúnmente en las especies que crecen en áreas semiáridas y áridas en los trópicos (Smith et al.,2010). El grado de latencia entre, y dentro de, lotes de semillas de la misma especie varía con la procedencia, año de cosecha y árboles individuales (Poulsen,

1996; Wolf y Kamondo, 1993). Aunque las semillas de muchas especies tropicales no tienen latencia, la germinación de algunas especies de árboles se retrasa como si fueran latentes (e.g., *Diospyros kirkii, Moringa oleifera* Lam.) (Albrecht, 1993; Msanga, 1998).

La identificación de la latencia en las semillas es otro aspecto crucial, manifestándose cuando las semillas viables no germinan a pesar de que éstas se encuentran en condiciones óptimas (Orozco et al. 2006). La latencia puede clasificarse según el mecanismo que impide la germinación (Baskin y Baskin, 1998, 2004). La latencia física, presente en nueve órdenes y 15 familias de angiospermas en el mundo, se origina por una capa impermeable al agua en la testa de las semillas (Rolston, 1987; Baskin et al., 2000, 2004). En contraste, la latencia fisiológica, más extendida en diversas familias, se debe a un mecanismo que inhibe el metabolismo del embrión, impidiendo su desarrollo y la consecuentemente germinación (Baskin y Baskin, 1998).

Con el objetivo de romper la latencia se han ensayado diferentes tipos de tratamientos pre germinativos (Arnold, 1996). Entre los métodos comunes se encuentra la estratificación, que rompe la latencia fisiológica colocando las semillas entre estratos que conservan la humedad, como arena, turba o vermiculita, en frío o calor (Patiño et al., 1983; Hartmann y Kester, 1977; Hartmann y Kester, 1988, Donoso, 1993). La escarificación, importante para la latencia mecánica, emplea procesos que ablandan las cubiertas de las semillas, permitiendo la permeabilidad al agua y a los gases (Varela y Arana, 2011). La lixiviación, por su parte, implica remojar las semillas en agua corriente para eliminar inhibidores químicos y ablandar la testa, con períodos de remojo de 12 a 72 horas (Patiño et al., 1983; Hartmann y Kester, 1988; FAO, 1991). Se recurre también a compuestos químicos como hormonas inductoras de germinación, y en casos específicos, se combina tratamientos, especialmente en semillas con múltiples clases de latencia (Varela y Arana, 2011). Tras identificar la clase de latencia, se implementa el tratamiento más adecuado, optimizando el proceso de germinación y promoviendo la propagación de especies nativas en proyectos de restauración y rehabilitación de ecosistemas.

Aunque se ha investigado más sobre la germinación de especies comerciales es imperativo profundizar en la comprensión de los rasgos y germinación de especies nativas; con el propósito de implementar protocolos de propagación que permitan la obtención de un considerable número de individuos. Adaptándose de esta manera, a las necesidades específicas de proyectos de restauración a escala regional, con un impacto significativo

(Villota et al., 2019). En el caso particular de las semillas, es posible identificar y medir una variedad de rasgos y atributos morfológicos, ya sean cuantitativos o cualitativos; estos, cuando se combinan con otros rasgos funcionales, pueden tener implicaciones ecológicas de gran relevancia. Estos aspectos son cruciales para la toma de decisiones y la formulación de políticas en el proceso de conservación ex situ de las especies; un ejemplo concreto sería su aplicación en el manejo de bancos de semillas (Khurana y Singh, 2001).

La mayoría de las semillas de árboles tropicales no tienen latencia y pueden germinar fácilmente después que la semilla cae, siempre que exista humedad disponible. La mayoría de las semillas recalcitrantes, debido a la falta de sequedad en la maduración y el hecho que los procesos de crecimiento y germinación del embrión constituyen un proceso continuo, no muestran una interrupción del desarrollo (Smith et al.,2010). Las semillas de algunas especies tropicales y subtropicales tienen una latencia impuesta por el tegumento, principalmente, otros tipos de latencia en semillas de especies de árboles tropicales y subtropicales incluyen una latencia combinada por el tegumento y el embrión en Podocarpus falcatus (Wolf y Kamondo, 1993). Es importante empezar a conocer el tratamiento más efectivo para romper la latencia en cada especie, esto permitirá mejorar la propagación de plantas en procesos de restauración y de conservación. Éstos aseguran la disponibilidad de plántulas de las especies necesarias y de la calidad apropiada para disminuir las pérdidas en campo; la calidad de las plantas está muy asociada a su tamaño, formación y equilibrio entre la parte aérea y subterránea.

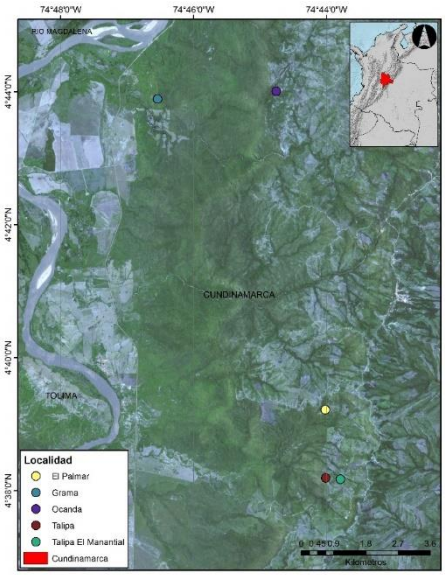
La diversidad de especies de plantas en el vivero se logra con el paso del tiempo, ya que la recolección de semillas de especies de densidades poblacionales bajas puede ser un gran reto. Para incluir un gran número de especies en los viveros se deben hacer recorridos amplios por la zona de trabajo para garantizar una buena provisión de semillas. El apoyo de los campesinos y de la comunidad es clave para la identificación de árboles semilleros, bancos de plántulas u otros propágulos. La socialización de los proyectos ante las comunidades debe permitir que éstas se integren de diversas formas como en la identificación de especies claves, el seguimiento de su fenología, la recolección y manejo de material para los viveros (Pizano y Garcia, 2014). Esto de la mano con las publicaciones de libre acceso (Londoño-Lemos et al., 2020; Rojas et al., 2021) permite una integración de la comunidad local con la científica, afianzando conocimientos y fortaleciendo el desarrollo de los proyectos de conservación y restauración.

4. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

La recolección de semillas se llevó a cabo del 26 de abril al 2 de mayo del 2023 en los municipios de Beltrán y Pulí, Cundinamarca, pertenecientes a la zona del Magdalena centro; en cinco veredas de la zona (Gramalotal, Talipa, Ocanda y El Palmar) (4°38’11” N-74°46’32” W) entre 374 y 1100 m s.n.m.; el clima osciló entre 17 a 29°C (Imagen 1). Las áreas encontradas de bosque variaban desde bosque denso alto con un dosel continuo, relictos de bosque cerca a bordes de quebrada y bosques inmersos en una cobertura de pastos limpios. La mayoría de los bosques estaban altamente intervenidos y tenían baja presencia de regeneración natural.

Imagen 1. Zona de muestreo con los puntos indicando cada una de las veredas dentro de los municipios de Pulí y Beltrán. Fuente: elaboración propia.



4.2 Selección de especies y diseño de muestreo

El Instituto de investigaciones biológicas Alexander von Humboldt (IAvH) cuenta con varias bases de datos de los diversos muestreos realizados en parcelas permanentes que han establecido en diferentes departamentos del país. Por parte del IAvH fueron suministrados

unos conjuntos de datos correspondientes a muestreos realizados en el departamento de Cundinamarca, esta fue la base para seleccionar las especies de interés. Primero se procedió a eliminar las especies pertenecientes a familias que no eran de interés para la investigación, como Orchidaceae, Juncaceae, Poaceae, Dicksoniaceae y todas las pertenecientes al phylum Bryophyta; así, se obtuvo un primer conjunto de datos de 2119 especies. Luego, se realizó una curaduría a los datos seleccionando las especies que estaban completamente identificadas y que tenían habito arbustivo y/o arbóreo, teniendo en cuenta que son las que conforman el estrato dominante del bs-T (Gentry, 1995), como resultado se obtuvo un segundo conjunto de datos de 1820 especies. Por último, se seleccionaron las especies con mayor número de registros, que tuvieran como mínimo 10 registros por especie, de esta forma se obtuvo un listado de 165 especies el cual fue compartido con los investigadores del IAvH y con base en su conocimiento previo de la zona seleccionaron 122 especies que serían las más probables de encontrar dentro del área a muestrear.

Con la lista resultante se realizó una búsqueda en el Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia (Bernal et al., 2015) y en la lista roja de la UICN para obtener el origen (nativa, endémica, naturalizada o invasora) y su grado de amenaza, esto con el fin de eliminar las especies consideradas invasoras, identificar las endémicas y confirmar que todas fueran nativas. Este listado se utilizó como guía durante la salida, pero no era restrictivo; es decir, si durante la salida se encontraba otra especie con semilla disponible (que no fuera una especie invasora), y que tuviera un hábito arbustivo o arbóreo se procedía a recolectar semillas de esa especie, no se tuvo en cuenta el diámetro a la altura del pecho (DAP). En la Tabla 1 se indican las especies recolectadas

El muestreo se llevó a cabo, siguiendo el método reportado en Di Sacco et al., 2020, para ello se realizaron recorridos libres recolectando en una sola dirección para evitar el sobre muestreo. Al encontrar un individuo con semillas se tomaba una muestra de cinco semillas y se realizaba una prueba de corte diagnóstico en campo, la cual consistió en hacer un corte transversal a la semilla para evidenciar el estado de desarrollo y si se encontraba con alguna infestación por hongo o insecto. Se recolectaba la muestra cuando al menos 3 de las 5 semillas se encontraban en buen estado.

Tabla 1 Especies nativas del bosque seco tropical recolectadas. *Bernal et al., 2016

Familia	Especie	Estado de conservación *	Sucesión	Fuente
Achatocarpaceae	*Achatocarpus nigricans* Triana	LC	Pionera	Martinez, 1985
Capparaceae	*Quadrella odoratissima* (Jacq.) Hutch	LC	Persistente	WFO, 2024
Malvaceae	*Apeiba schomburgkii* Szyszyl.	LC	Pionera	WFO, 2024
Polygonaceae	*Coccoloba obovata* Kunth	LC	Pionera	Albornoz et al., 2022
Rubiaceae	*Posoqueria latifolia* (Rudge) Schult.	LC	Pionera	Idarraga et al., 2016
Rubiaceae	*Genipa americana* L.	LC	Pionera	Vargas, 2015
Rubiaceae	*Guettarda rusbyi* Standl	LC	Persistente	Lopez y Morales, 2020
Rubiaceae	*Randia aculeata* L.	LC	Colonizadora	Salmerón et al., 2016
Rubiaceae	*Psychotria carthagenensis* Jacq.	LC	Colonizadora	Tropicos, 2024
Rutaceae	*Zanthoxylum schreberi* (J.F.Gmel.) Reynel	LC	Persistente	TPD, 2024
Sapindaceae	*Sapindus saponaria* L.	LC	Colonizadora	Mahecha y Echeverri, 1983

El número de individuos muestreados varió según la especie (Tabla 1), en algunas se encontró sólo un individuo (e.g., *A. schomburgkii*) y en otras hasta cuatro individuos (e.g. *P. carthagenensis*). Las semillas recolectadas se extrajeron del fruto el mismo día de la recolección, de ser necesario se lavaron para quitar el exceso de carnosidad que recubría la semilla; posteriormente, se secaron al aire libre para disminuir su humedad interna. Una vez secas, se almacenaron en bolsa de papel debidamente marcada con el número de colecta y se dejaban en nevera de icopor con silica gel para que tuvieran una humedad baja y constante, se dejaron en estas condiciones durante 10 días. De cada individuo, se recolectó un máximo del 20% de las semillas sanas, con el objetivo de no poner en peligro las poblaciones y garantizar la regeneración natural de la población, lo que es especialmente crítico para especies en peligro de extinción (Di Sacco et al., 2020).

Adicionalmente; para cada uno de los individuos se llevó registro de su fenología, fecha de recolecta, cantidad de frutos recolectados y resultado de la prueba de corte diagnóstico. Adicionalmente, se tomó una muestra de exicado para herbario, y se registró la ubicación de los posibles árboles semilleros. La identificación de las especies se llevó a cabo utilizando claves taxonómicas especializadas en familias (Rubiaceae, Melastomataceae), haciendo revisión y comparación con material de herbarios y consultando bases de datos en línea como JSTOR (https://www.jstor.org), Tropicos (https://www.tropicos.org), FieldMuseum (https://www.fieldmuseum.org/). Los exicados se encuentran almacenados en el herbario Federico Meden Bogotá.

4.3 Medición de rasgos funcionales en semillas de 11 especies de bs-T

En total se midieron ocho rasgos funcionales, (Tabla 2); para los rasgos morfológicos de tamaño, peso y humedad se utilizaron 10 semillas por especie. Se midió el largo, grosor y ancho de cada semilla con un calibrador analógico (Vernier, precisión 0.02mm) para estimar el tamaño. La masa se obtuvo con una balanza analítica de alta precisión (BOECO BAS 31, precisión 0.0001g). Para calcular el contenido de humedad, las mismas 10 semillas se pesaron en fresco, luego se secaron a 150° C y se volvieron a pesar después de tres horas de secado; la humedad se obtuvo restando el peso seco del fresco, dividiendo el resultado por el peso seco y multiplicando por cien para obtener el porcentaje (ISTA, 2007).

Para calcular los rasgos de E/S (largo del embrión dividido el largo de la semilla), E/e (área del embrión /área de la semilla) y grosor de la testa se utilizaron 10 semillas para cada uno, se realizó un corte transversal a cada semilla, los tejidos internos fueron fotografiados en un Estereomicroscopio (LEICA M205A) con cámara LEICA MC170 HD (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemania) y analizados con el programa ImageJ (Schneider et al., 2012). Se obtuvieron las medidas de largo del embrión, largo de la semilla, área del embrión, área del endospermo y se calcularon las relaciones E/S y E/e. Para obtener los rasgos anatómicos, se utilizaron las fotografías previamente tomadas se caracterizó el tipo de embrión y la presencia de endospermo, se describió el embrión y el endospermo con base en revisión bibliográfica de la familia y/o género, siguiendo a Martin (1946). Esta información también permitió confirmar si había o no presencia de endospermo.

En la Tabla 2 se desglosan los rasgos obtenidos, con base en algunos rasgos principales se calculan otros rasgos que integran varios en uno, así: el tamaño de la semilla se expresa como el diámetro equivalente, el cual se obtuvo al multiplicar el ancho por el largo por el grosor de la semilla y sacando la raíz cúbica al resultado (Cervilla et al., 2012) con la fórmula $De=(D1*D2*e)^{1/3}$ donde medida de ancho (D1), largo (D2) y grosor (e). La relación E/S se obtuvo al dividir el largo del embrión por el largo de la semilla, este rasgo permite descartar la posibilidad de latencia morfológica o morfofisiológica (Baskin y Baskin, 2014); y la relación E/e se obtuvo al dividir el área del embrión por el área del endospermo (Martín, 1946).

El rasgo de viabilidad se obtuvo siguiendo la metodología de Di Sacco et al., 2020, utilizando una solución de tetrazolio al 2% en tres réplicas de 15 semillas. Para la tolerancia a la desecación se realizó una variación de la metodología propuesta por Pritchard et al.

(2004), a 60 semillas por especie se les midió la humedad relativa, luego a 60 semillas se le realizó la prueba de viabilidad con tetrazolio, dejando 3 réplicas de 20 semillas cada una; a las 60 semillas restantes se les disminuyó la humedad relativa guardando las semillas en una bolsa de papel previamente marcada, posteriormente se introdujo en un recipiente hermético con silica gel, para acelerar la deshidratación, y un termohigrómetro para monitorear la temperatura y humedad de la cámara. Al llegar al 15% de humedad, se sacó la bolsa con las semillas y se guardó en una bolsa metalizada hermética que contenía un poco de silica gel como indicador de humedad. Esta bolsa metalizada se marcó con el número de la especie y se almacenó en una nevera a menos cuatro grados centígrados durante tres meses. Cumplido este tiempo, se extrajeron de la nevera y durante 24 horas se mantuvieron a temperatura ambiente. Finalmente se realizó la prueba de tetrazolio, dejando 3 réplicas de 20 semillas cada una, y se comparó con la prueba de tetrazolio inicial para identificar si se evidenciaba algún cambio en cuanto a la viabilidad de cada una de las especies**.** Los datos de las pruebas de viabilidad y tolerancia se obtuvieron contando el número de semillas teñidas totalmente y sacando el porcentaje de viabilidad total con base en la cantidad de semillas utilizadas por réplica. Por último, se promediaron las 3 réplicas para obtener un solo dato por especie (Di sacco et al., 2020). Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Tabla 2. Rasgos funcionales de las semillas del bosque seco tropical. E/S: relación largo del embrión largo de la semilla. E/e: relación área del embrión con área de la semilla.

Nombre	Unidades	Importancia	Fuente
Tamaño	mm	Ha evolucionado asociado a otros rasgos morfológicos y fisiológicos	(Venable y Brown, 1988; Rees, 1995).
Peso	g.	Relacionado con el comportamiento de conservación de las semillas y la capacidad de tolerar la deshidratación	(Daws et al., 2005).
Humedad	%	Permite establecer los tiempos seguros de	Vega et al., 2006).

		almacenamiento durante un tiempo determinado	
E/S	NA	permite descartar la posibilidad de latencia morfológica o morfofisiológica	(Baskin y Baskin, 2014)
E/e	NA	Relacionado con la latencia	(Jiménez-Alfaro et al. 2016)
Grosor de la testa	mm	Podría retrasar la germinación o inducir dormición física	(Gleiser et al., 2004) (Baskin y Baskin, 2014)
Embrión	Categórico	El tipo de embrión se asocia con la morfología inicial de la plántula	(Garwood, 1996)
	mm	El tamaño del embrión llega a ser determinante en la evolución de la latencia de las semillas	(Matilla, 2008)
Endospermo	Categórico	Es fundamental para mantener la latencia de las semillas	(Iwasaki et al., 2022)
	mm	Tamaño: La persistencia del endospermo como tejido de almacenamiento, puede indicar una relación con algunas características de la germinación.	(Costa et al., 2004
Viabilidad	%	Propicia la práctica detección de la actividad metabólica de las semillas.	(Salazar y Botello, 2008)
Tolerancia a la desecación	%	Es una cualidad que confiere protección a los tejidos que pueden sufrir daños durante la deshidratación	(Vertucci y Farrant, 1995).

Para los resultados y análisis de los datos se tuvieron en cuenta los rasgos de las mediciones directas y otros de los rasgos que integraban varias medidas. En total se

analizaron ocho rasgos, así: humedad (Hum), largo embrión/largo semilla (E/S), área embrión/área de endospermo (E/e), diámetro equivalente (De), peso, grosor de la testa (Gt), viabilidad inicial (Via) y tolerancia a la desecación (Tole).

4.4 Tratamientos de germinación y diseño experimental:

Los ensayos de germinación se llevaron a cabo en la estación experimental ubicada en el municipio de Jerusalén, Cundinamarca, en la vereda Andorra (Imagen 2). Se recolectaron semillas de 11 especies nativas del bosque seco tropical: *Randia aculeata, Zanthoxylum schreberi, Coccoloba obovata, Posoqueria latifolia, Genipa americana, Sapindus saponaria, Psychotria carthagenensis, Achatocarpus nigricans, Apeiba schomburgkii, Guettarda rusbyi* y *Quadrella odoratissima.* De cada especie se recolectó un promedio de 540 semillas, excepto para *P. latifolia* de la cual se recolectaron 405 semillas. Las semillas se sometieron a dos tratamientos pre germinativos: imbibición en agua durante 24 horas (T1), exposición a peróxido de hidrógeno durante 15 minutos (T2), y se utilizó un grupo de semillas como control al cuál no se le realizó ningún tratamiento (T0). Para cada uno de los tratamientos se realizaron 3 réplicas de 20 semillas cada una, excepto para *P. latifolia* que se usaron 15 semillas por réplica, en bandejas de germinación de 200 alveolos. Las bandejas fueron ubicadas en una zona de la estación que contaba con un área de 161 m^2, y tenía una poli sombra del 85% de cobertura; en cuanto a condiciones ambientales, mantuvo una temperatura promedio de 29°C, con humedad relativa del 68% y luminosidad de 210lux. (Imagen 2).

Dentro de la estación experimental se ubicaron las mesas de forma que quedaran en la misma orientación. Sobre cada mesa se distribuyeron de forma aleatoria las bandejas, para evitar cualquier sesgo que llegara a afectar el resultado sobre la germinación. Cada bandeja se llenó por completo con el sustrato, compuesto de cuatro partes de tierra y una de cascarilla de arroz, muy bien mezclado para generar un sustrato uniforme. Teniendo llenas las bandejas, se procedió a marcarlas con una etiqueta única para cada bandeja, con el nombre del tratamiento, réplica y especie. Este orden también se aleatorizó para que no fuera el mismo dentro de las nueve bandejas trabajadas, esto se hizo para que las condiciones ambientales fueran más uniformes para cada una de las especies a evaluar. Después de tener las bandejas llenas se sembraron las semillas una a una en cada alveolo y en la hilera que le correspondía según el marcaje realizado previamente. Se utilizó un

diseño experimental de bloques completos aleatorizados, en donde las especies fueron aleatorizadas por bloque según el tratamiento pre germinativo y las bandejas se aleatorizaron debajo de la polisombra.

Con las bandejas llenas y dispuestas debajo de la poli sombra se procedió a monitorear la germinación, realizando riego diario hasta capacidad de carga del suelo (punto de saturación del suelo) y cada tercer día llevar un registro de cuantas semillas habían germinado en cada una de las bandejas. Se utilizó como criterio de germinación la emergencia de cotiledones (especies con germinación epigea) o al ver cómo sobresalía la plúmula (especies con germinación hipogea). El registro de estas mediciones se realizó hasta que germinaron todas las semillas o hasta que se cumpliera el tiempo de tres meses destinado para el experimento. Con esta información se calcularon los índices que permiten evaluar de una forma más específica la respuesta de cada una de las especies a los tratamientos pre germinativos.

Imagen 2. **a.** Predio andorra, Jerusalén, Cundinamarca. **b.** Área con poli sombra donde se establecieron los tratamientos de germinación.

Los índices que se evaluaron fueron: porcentaje de germinación (%), el cual indica el porcentaje de semillas germinadas para cada tratamiento; el índice de velocidad media de germinación (VMG), el cual hace referencia al número de semillas que germinan por día; y la mediana del tiempo medio de germinación (T50), que hace referencia a la cantidad de días que toma la especie para germinar el 50% de las semillas (Tabla 3.)

Tabla 3. Ecuaciones de los índices evaluados. P = número de semillas germinadas; T = tiempo germinación; n = día último control N= porcentaje final de semillas germinadas,

N_1= porcentaje de semillas germinadas por debajo de N/2, N_2 = porcentaje de semillas germinadas por encima de N/2, T_1 =Número de días que corresponden a N_1, T_2 = Número de días que corresponden a N_2. Fuente: Ranal y García De Santana, 2006; Thanos y Doussi, 1995.

Variable	Formula
Porcentaje de germinación (PG)	PG=No. De semillas germinadas/No. De semillas incubadas
Velocidad media de germinación (VMG)	$VMG= P_1/T_1 + P_2/T_2 + \ldots + Pn/Tn$
Mediana del tiempo medio de germinación (T50)	$T50=([(N/2) - N_1 (T_2 - T_1)]/N_2 - N_1) + T_1$

5. ANALISIS DE DATOS

5.1 Medición de rasgos funcionales en semillas de 11 especies de bs-T

Todos los datos fueron analizados en R studio (RStudio 2020) y las figuras se realizaron con el uso de la librería ggplot2 (Wickham, 2016). Para el análisis estadístico de los rasgos funcionales se probó la normalidad de los datos por medio de una prueba Shapiro-Wilk con el paquete “agricolae” (de Mendiburu, 2023). Posteriormente, se realizó un modelo lineal con los datos que presentaron normalidad y un modelo lineal generalizado con los que no cumplieron con los supuestos de normalidad. Los modelos lineales se realizaron con el paquete "lme4" (Bates et al., 2015). Para la prueba post hoc se utilizó Duncan de la librería "pander" (Daróczi y Tsegelskyi, 2022), para evidenciar las diferencias significativas entre rasgos.

Entre cada grupo de rasgos se realizó un análisis de componentes principales (PCA), el cual permitió analizar la interdependencia de las variables, ya que con base en las variables obtenidas se generó un nuevo conjunto de variables denominada componentes principales, los cuales se caracterizan por estar correlacionados entre sí; y obtener una gráfica para la interpretación de la variabilidad y asociación entre los rasgos (Bermeo, 2010). El análisis de PCA se realizó con las librerías "factoextra" (Kassambara y Mundt,

2020), "FactoMineR" (Sebastien Le et al., 2008). Para determinar la relación entre rasgos se utilizó la correlación de Spearman de la librería "corrr" (Kuhn et al., 2022) (Anexo D). Para evidenciar si existe algún rasgo que agrupe las 11 especies formando grupos diferenciados, se utilizó un análisis de conglomerados jerárquicos con el uso de la librería "cluster" (Maechler et al., 2022), basado en el método de Ward sobre el índice de similitud de Gower de los ocho rasgos funcionales de las semillas (Gower, 1971).

5.2 Tratamientos pregerminativos realizados en semillas de especies de bs-T

Para el análisis estadístico de los tratamientos pre germinativos se probó la normalidad de los datos por medio de una prueba Shapiro-Wilk con la librería “agricolae” (de Mendiburu, 2023). Posteriormente, se realizó un modelo lineal con los datos que presentaron normalidad y un modelo lineal generalizado con los que no cumplieron con los supuestos de normalidad, con la librería “lme4” (Douglas et al., 2015). Para la prueba post hoc se utilizó Duncan para evidenciar las diferencias significativas entre los tratamientos pre germinativos y cada uno de los índices evaluados: porcentaje de germinación, velocidad media de germinación y la mediana del tiempo medio de germinación. Por último, se realizaron ANOVAS, con la librería “agricolae” (de Mendiburu, 2023), de los modelos utilizados para evidenciar si presentaban interacción significativa entre los índices evaluados, los escenarios y los tratamientos.

Para evidenciar si existe correlación entre los rasgos morfológicos del apartado 4.1 y los rasgos de germinación del apartado 4.2, se realizó una correlación de Spearman de la librería "corrr" (Kuhn et al., 2022) y teniendo en cuenta el valor de P reportados identificar si hay correlaciones significativas entre los índices de germinación y los rasgos morfológicos (Anexo I).

6. RESULTADOS

6.1 Caracterización de rasgos funcionales en semillas de 11 especies arbóreas del bs-T

Se presenta una caracterización detallada de 11 especies arbóreas del bosque seco tropical, pertenecientes a 7 familias, reportando descripción externa e interna de la semilla, tipo de embrión, presencia y forma de endospermo, el largo, ancho y grosor de la semilla, relación del tamaño del embrión con la semilla y el endospermo, grosor de la testa, humedad, peso, viabilidad inicial y tolerancia de a la desecación de cada especie (Anexo A y B).

De los rasgos categóricos se obtuvo que dos de las especies no presentan endospermo, *Q. odoratissima* y *S. saponaria,* en las nueve especies con endospermo se reportó una variedad de colores como blanco, amarillo, café-naranja y transparente. Entre los tipos de embrión el más común en el tipo espatulado en *P. latifolia, G. americana, G. rusbyi, R. aculeata, Z. schreberi* y *P. carthagenensis,* tipo doblado en *Q. odoratissima, Ap. schomburgkii* y *S. saponaria,* tipo periférico en *C. obovata,* y tipo anular en *A. nigricans* (Anexo A).

Conforme a los rasgos morfológicos se observan diferencias significativas, con la prueba posthoc de Duncan ($p<0.05$), entre las 11 especies para todos los rasgos evaluados (Figura 1). En el caso del porcentaje de humedad (Figura 1 c.), la mayoría de las especies estuvieron debajo de la media total (20%). La especie *P. latifolia* es la que presentó el porcentaje más alto (57.7%) mientras que *A. nigricans* y *Z. schreberi* presentaron el menor porcentaje de humedad (5% y 5.71% respectivamente).

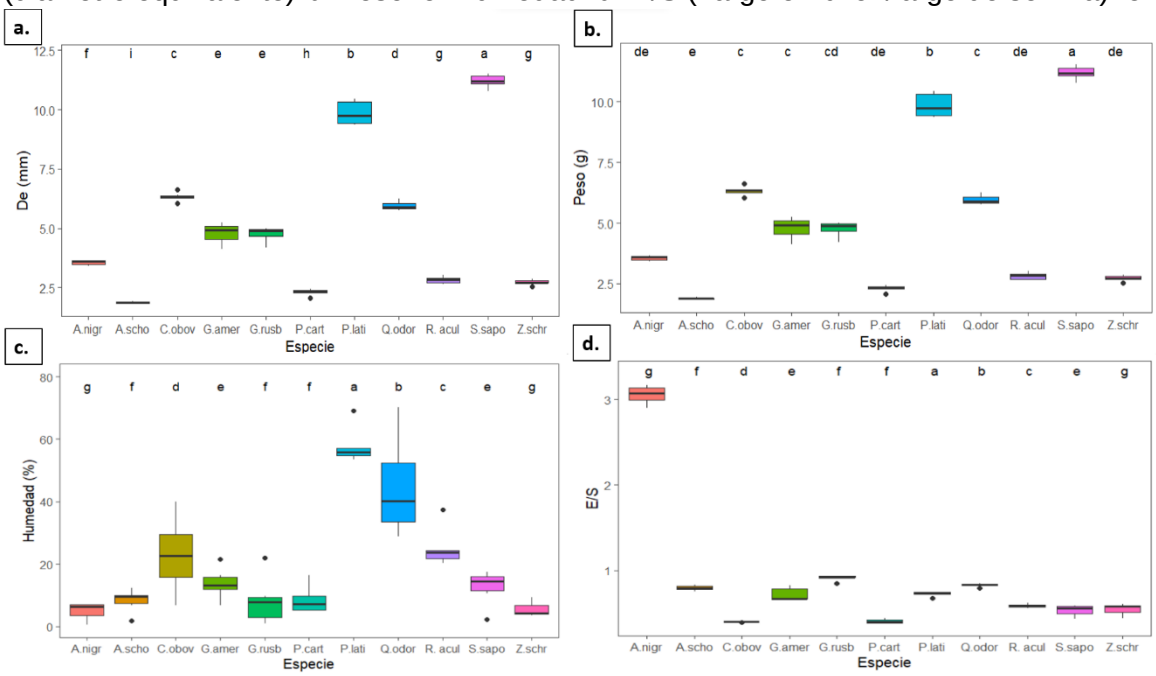
En nueve de las once especies se obtuvo una relación de largo del embrión sobre largo de la semilla con un valor menor a la media (E/e=0.87) (Figura 1 e.). *A. nigricans* presentó el mayor valor (3.06) y varió significativamente de las demás especies. De las nueve especies que presentan endospermo, sólo *A. schomburgkii* estuvo por encima del promedio total con una relación de 6.96.

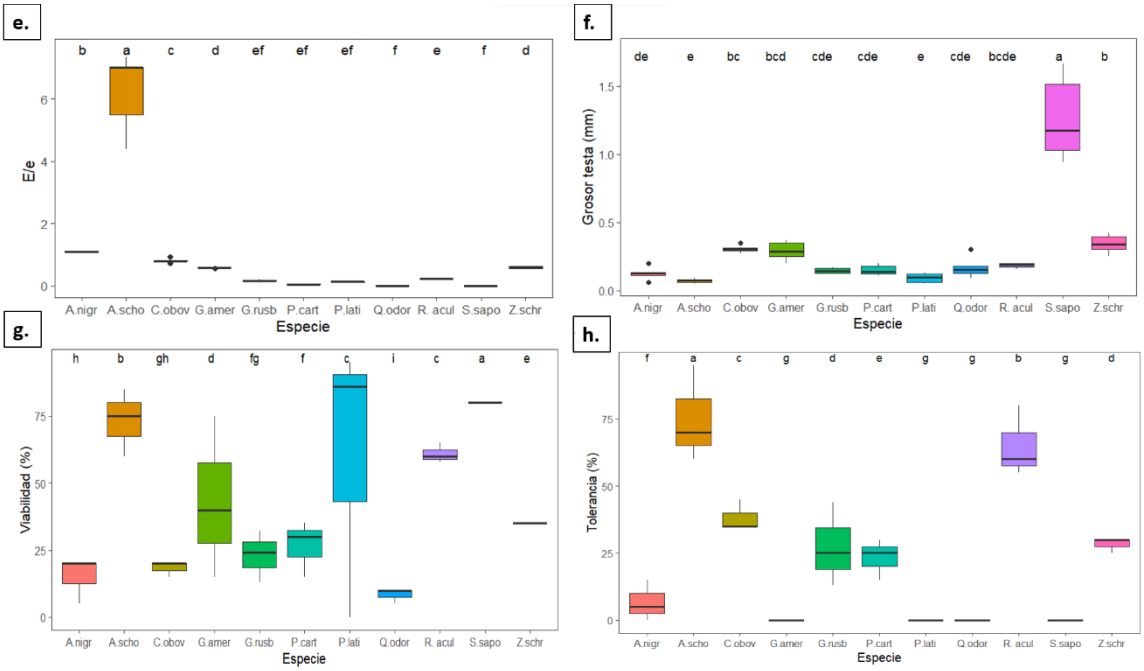
La especie que presentó la semilla de mayor tamaño fue *S. saponaria*, con un diámetro equivalente de 11.2mm, y la especie con semilla de menor tamaño fue *A. schomburgkii* con un 1.88mm; las especies *G. americana* y *G. rusbyi* presentaron un tamaño muy similar (4.79 y 4.75) así mismo las especies *R. aculeata* y *Z. schreberi* al tener un De de 2.81 y 2.72 respectivamente (Figura 1 a.). Por otra parte, la especie con mayor peso es *S.*

saponaria, con 0.91g, y las especies más livianas fueron *Z. schreberi, P. carthagenensis* y *A. schomburgkii*, con 0.01g. (Figura 1 b.) Para el rasgo del grosor de la testa la especie que presentó una testa más gruesa fue *S. saponaria* (1.26mm) y las especies con la testa más delgada son *P. latifolia* y *A. schomburgkii* con 0.09 y 0.07mm, respectivamente. Las especies que presentaron un grosor de testa muy similar fueron *Q. odoratissima* (0.17mm), *P. carthagenensis* y *G. rusbyi* (ambas con 0.15mm) (Figura 1 f.).

El mayor porcentaje de viabilidad varió entre 8.3% y 80% en las especies *Q. odoratissima* y *S. saponaria,* respectivamente. Dos especies tuvieron una viabilidad muy similar*, R. aculeata* y *P. latifolia* con 60.9% y 60.3 % de viabilidad (Figura 1 g.). En cuanto a la tolerancia a la desecación las especies con el mayor porcentaje fueron *Ap. schomburgkii* con un 75% y *R. aculeata* con 65% y las especies con menor porcentaje fueron *S. saponaria, P. latifolia, G. americana* y *Q. odoratissima*, las cuales tuvieron un 0% de viabilidad después del periodo de congelamiento (Figura 1 h.).

Figura 1 Box plots correspondientes a los 8 rasgos evaluados en las 11 especies. Letras diferentes indican diferencias significativas, prueba post-hoc de Duncan (P<0.05). **a.** De (diámetro equivalente) **b.** Peso**. c.** Humedad. **d.** E/S (Largo embrión/largo de semilla). **e.**

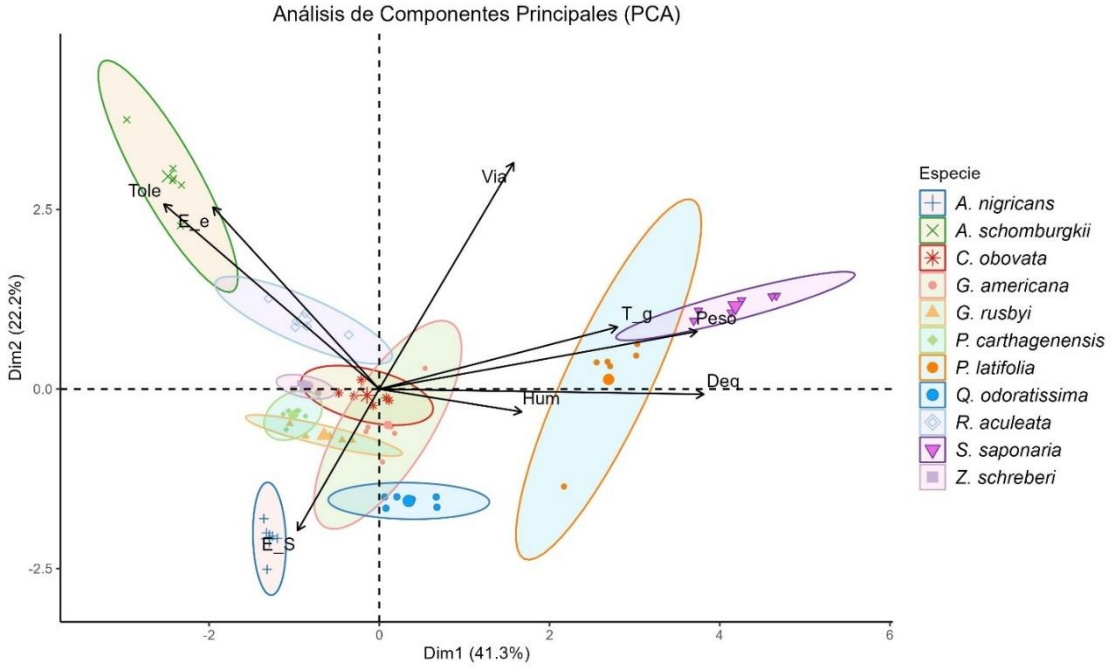




Para comprobar si existe alguna relación entre los rasgos obtenidos, se realizó un análisis de componentes principales (Figura 2, anexo B). Los dos primeros componentes explicaron el 63.5% de la variación de las especies en función de los rasgos funcionales de las semillas. El primer componente (41.3%) fue explicado en un mayor porcentaje por el rasgo de diámetro equivalente (De) y el Peso en el lado positivo, y por tolerancia a la desecación (Tole), la relación embrión/endospermo (E/e) en el lado negativo. El segundo componente estuvo determinado por el “trade-off” entre la viabilidad (Via) en el lado positivo y la relación de largo del embrión y largo de la semilla (E/S) en el lado negativo.

La especie *Ap. schomburgkii* mostró una alta tolerancia a la desecación y una alta relación E/e, seguida de la especie *R. aculeata.* La especie *S. saponaria* presentó un mayor peso, grosor de testa y diámetro, seguida de la especie *P. latifolia*. La especie *Ac. nigricans* presentó una menor relación largo del embrión/largo de la semilla, seguida de *G. americana*. De las estrategias encontradas se evidencia que las especies que presenten una baja relación de E/S, como *Ac. nigricans* y *G. americana* tienen una alta viabilidad (Figura 2).

Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA) del promedio de los valores de los rasgos funcionales por especie. Los porcentajes de variación explicados por los primeros dos ejes del PCA se incluyen en el gráfico. Via (Viabilidad), Tole (Tolerancia a la desecación, E/e (Área de embrión/área de endospermo), E/S (largo embrión/largo de la semilla), Gt(grosor de la testa), Hum (Humedad), De (Diámetro equivalente).

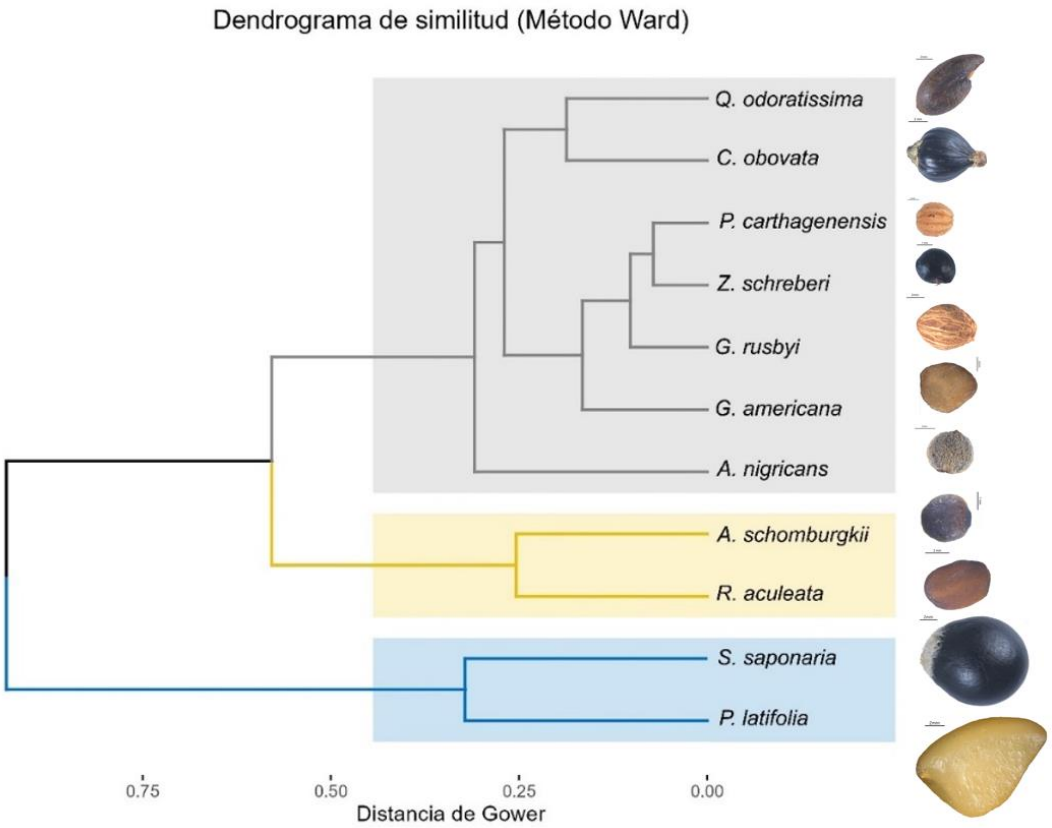


Cabe destacar que se encontraron correlaciones significativas entre los rasgos de las once especies evaluadas (Anexo D). El rasgo relación embrión/endospermo tuvo una correlación positiva y significativa con la tolerancia a la desecación (r=0.86), y una relación negativa y significativa con el diámetro (r=-0.92) y el peso (r=0.93). Para el rasgo de la relación largo del embrión/largo de la semilla, no se encontró ninguna relación positiva con otros rasgos, pero sí tiene una relación negativa significativamente con el grosor de la testa (r=- 0.72). El diámetro equivalente tiene una buena correlación con el peso (r=1) y una relación negativa significativamente con la tolerancia a la desecación (r=-0.94), este último rasgo (Tole) presenta una relación positiva significativamente con la relación área de embrión/área de endospermo (r=0.86), y negativa significativamente con el diámetro (r=-0.94) y el peso (r=-0.94). Por su parte, la humedad presenta una relación positiva significativamente con el diámetro (r=0.77) y con el peso (r=0.78) y negativa significativamente con la relación E/e (r=-0.82). El peso tiene una relación negativa significativamente con la relación E/e (r=-0.93). El grosor de la testa y la viabilidad no

presentan una relación positiva significativamente con ningún otro rasgo, pero el grosor de la testa si tiene una relación negativa y significativa con la relación E/S (r=-0.72).

Para evidenciar si las once especies se agrupaban teniendo en cuenta los rasgos evaluados, se realizó un dendograma utilizando el índice de similitud de Gower (Figura 3), el cual agrupa a las especies de acuerdo con su semejanza en cada rasgo. Teniendo en cuenta que los rasgos de tamaño y peso son los que más similitud presentan entre las especies, se formaron 3 grupos, el primero conformado por las especies *S. saponaria* y *P. latifolia* (tamaño entre 9.8 a 11.2 mm y peso entre 0.71 a 0.91 g), el segundo conformado por las especies *Ap. schomburgkii* y *R. aculeata* (tamaño entre 1.88 a 2.81 mm y peso entre 0.01 a 0.0.2 g), y el último conformado por *Q. odoratissima, C. obovata, P. carthagenensis, Z. shreberi, G. rusbyi, G. americana* y *Ac. nigricans* (tamaño entre 2.31 a 6.33 mm y peso entre 0.01 a 0.09 g).

Figura 3. Dendograma realizado utilizando el método del índice de similitud de Gower de los rasgos estructurales de las semillas de las 11 especies.

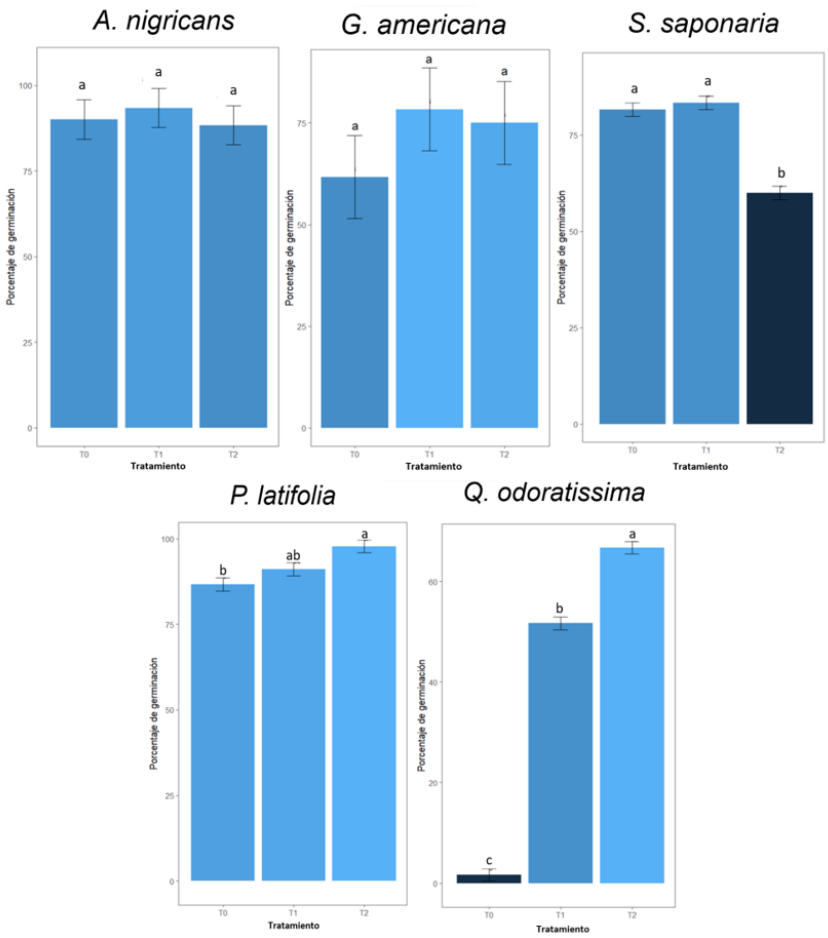


6.2 Caracterización de tratamientos pre germinativos en especies de bs-T

6.2.1 Porcentaje de germinación

Al evaluar los resultados del porcentaje de germinación con cada tratamiento pregerminativo se evidencia que, de las once especies evaluadas, cinco respondieron a los tratamientos y seis especies no germinaron con ninguno de los tratamientos. (Figura 4). Al evaluar cuál sería el mejor tratamiento pre germinativo para cada especie, se obtuvo que *Q. odoratissima* presentó mayor porcentaje de germinación en el T2 (Pr= 0.0006), comparado con el T1 (Pr=0.02) y el control (Anexo F).

Figura 4. Gráficas de barra del porcentaje de germinación en el área con polisombra para las cinco especies evaluadas. Letras diferentes indican diferencia significativa (Tabla en Anexo E).



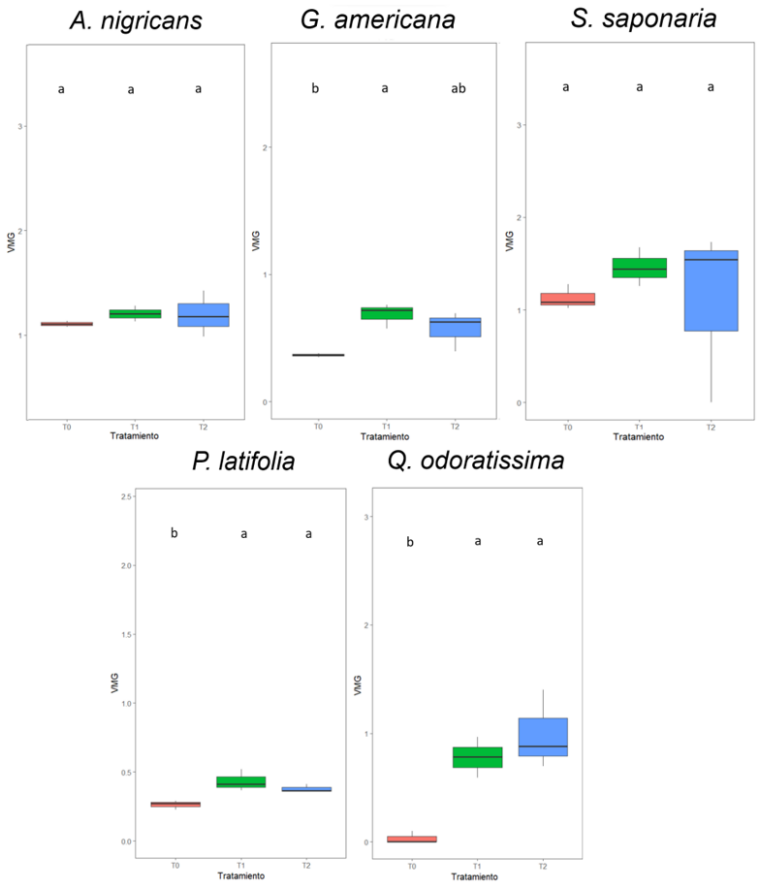
En el caso de *P. latifolia*, el porcentaje de germinación aumentó con el T2 (Pr=0.001), y disminuyó en *S. saponaria* (Pr=0.03) (Figura 4). Para las especies *G. americana* y *Ac.*

nigricans la germinación no fue significativamente diferente con ninguno de los tratamientos (p valor=0.28 y p valor=0.72, respectivamente.

6.2.2 Velocidad media de la germinación (VMG)

Para cada una de las especies se obtiene que ambos tratamientos aumentaron la velocidad media de la germinación (Figura 5). En el caso de la especie *Q. odoratissima*, los tratamientos tuvieron un efecto significativo sobre la VMG (p=0.006), el T2 en los escenarios es con el que se obtiene el valor más alto de VMG (Pr=0.002) (Anexo G). Por otro lado, en las especies *S. saponaria* y *Ac. nigricans* no se evidenció un efecto significativo por parte de ninguno de los tratamientos, se observa un valor un poco más alto con el T2 (Figura 5). Para las especies *G. americana* y *P. latifolia,* se evidenció un efecto significativo por parte del T1(Pr= 0.011, Pr= 0.007, respectivamente) en la VMG al compararlos con el control (Ver anexo G).

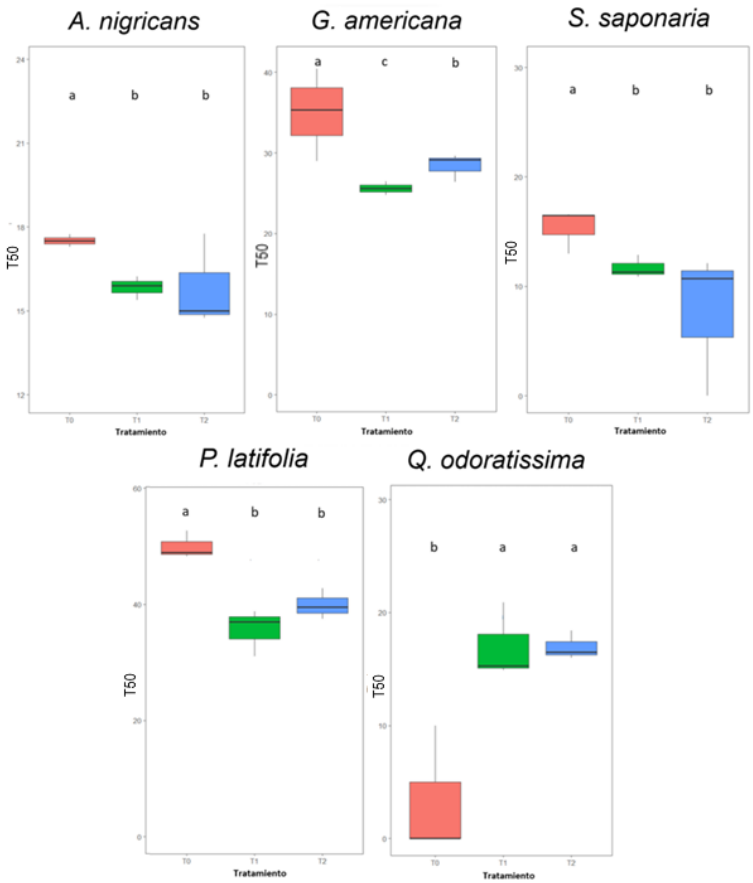
Figura 5 Gráficas tipo box plot de la VMG para las cinco especies evaluadas. Letras diferentes indican diferencia significativa (Anexo G).



6.2.3 Mediana del tiempo medio de germinación (T50)

Teniendo en cuenta lo obtenido con cada uno de los tratamientos se evidencia que el T50 disminuyó en todas las especies (Figura 6). En el caso de la especie *Q. odoratissima*, los tratamientos tienen un efecto significativo en el T50 con respecto al control (Pr=0.0003), aunque el menor valor de T50 se registró en el control. Para las especies *S. saponaria* y *A. nigricans*, el T2 fue el que obtuvo un valor significativamente menor al compáralo con el control (Pr=0.064 y Pr=0.029, respectivamente). Para las especies *G. americana* y *P. latifolia* se evidencia un valor significativamente menor con el T1 (Pr=0.011 y Pr=0.0007, respectivamente) (Anexo H).

Figura 6 Gráficas tipo box plot del T50 para las cinco especies evaluadas. Letras diferentes indican diferencia significativa (Anexo H).



Con base en los resultados de los tres índices para cada una de las especies se puede determinar que para la especie *Ac. nigricans, G. americana* y *S. saponaria* el tratamiento de imbibición (T1) es el que optimiza su germinación; y las especies *P. latifolia* y *Q.*

odoratissima presentan un mejor desempeño en todos los índices al utilizar el tratamiento de remojo en agua oxigenada (T2).

Conforme a la correlación realizada con la totalidad de los rasgos se obtuvo que para cada índice se evidenciaron correlaciones significativas ($p<0.05$) en los mismos rasgos para cada uno de los tratamientos (Anexo I). De esta forma para el tratamiento control (T0) en los tres índices, porcentaje de germinación, velocidad y Mediana del tiempo merio de germinación, se obtuvo correlación positiva y significativa con los rasgos diámetro equivalente ($R\approx0.7$) y peso ($R\approx0.7$); y una correlación significativa y negativa con el rasgo de tolerancia a la desecación ($R=-0.91$). Para el tratamiento de imbibición (T1) en los tres índices se obtuvo una relación positiva y significativa con los rasgos de diámetro equivalente y peso ($R=0.7$ para ambos) y una relación negativa y significativa con los rasgos de área de embrión/área de endospermo ($R\approx-0.7$) y tolerancia a la desecación ($R\approx-1$). Por último, para el tratamiento de escarificación con agua oxigenada (T2), los tres índices estuvieron relacionados de forma significativa y positiva con el diámetro equivalente y peso ($R=0.8$); y de forma negativa y significativa con los rasgos área de embrión/área de endospermo ($R=-0.7$) y con tolerancia a la desecación ($R\approx-1$).

7. DISCUSIÓN

7.1 Caracterización de rasgos funcionales en 11 especies arbóreas del bs-T

Los rasgos fueron seleccionados principalmente por que proveen información más allá de la forma o el tamaño de la semilla, permitiendo conocer más sobre su morfología; adicionalmente son rasgos poco utilizados (Jimenez et al., 2015) lo que les confiere relevancia para ampliar el conocimiento sobre los rasgos funcionales de las semillas.

En general, las especies de bs-T tienen una variedad de características morfológicas en sus semillas, posiblemente como resultado de la adaptación a las condiciones de mayor aridez que caracterizan a estos bosques y a las estrategias de dispersión utilizadas por cada una de las especies (Romero-Saritama y PérezRuiz, 2016). Uno de los rasgos morfológicos más estudiados en la ecología de semillas es el tamaño de las semillas, por ser uno de los elementos que ha evolucionado asociado a otros rasgos morfológicos y fisiológicos (Venable y Brown, 1988; Rees, 1995).

De las especies evaluadas seis presentaban reportes previos sobre su morfología, *P. latifolia* en la Flora de Nicaragua (2021), registra un largo entre 5 a 10mm, el cual es menor a los 12.2mm reportados en el presente trabajo. En el caso de la especie *Q. odoratissima,* Sarache en 2019 reportó un tamaño de 10 x 7 mm, muy similar al encontrado de 9.5 x 5 mm; información parecida se encontró para la especie *G. americana* ya que coincide con lo registrado en el presente proyecto (8.4 largo x 6.6 ancho en mm) y lo reportado anteriormente por Queiroz et al., 2012 (9.6 largo x 6.6 ancho en mm). Para la especie *A. nigricans*, se reportó un diámetro mayor (4.4mm) al registrado previamente por Martínez (1985) de 3mm de diámetro. De la especie *S. saponaria,* también se reportaron datos de mayor valor a los reportados previamente, en el presente trabajo se registró 12mm de largo por 11.15mm de ancho y un peso de 0.9g, mientras que en el 2007 Bonilla et al., reportaron 10 mm de largo por 0.8 mm de ancho con un peso de 0.75g. Tres especies contaban sólo con descripciones generales sobre la forma de sus semillas (*C. obovata, G. rusbyi* y *Z. schreberi)* en una plataforma de agricultura que realiza compilados de información sobre algunas especies nativas (selinawamucii.com). Por último, la especie *Ap. schomburgkii* no cuenta con información sobre la descripción de sus semillas, del mismo género hay registro

de *Ap. tibourbou,* la cual registra un diámetro de 2.5 mm (WFO, 2024), muy similar a los 2mm de ancho reportados en el presente trabajo.

En la mayoría de los estudios se reportan las medidas principales como alto y ancho de la semilla, Romero y Bedoya en 2022 reportaron estos rasgos para especies de un bosque seco sudamericano en Ecuador: largo de 2.55 a 22.4mm, ancho de 1.57 a 17.38, grosor de 0.55 a 12.68 y peso de 0.007 a 1.41g. En el presente estudio se encontró largo de 2.6 a 12.2mm, ancho de 2 a 11mm, grosor de 1.1 a 10.4mm y peso de 0.01 a 0.91 g, por lo que el grupo de especies trabajadas en este estudio son más pequeñas que las reportadas por Romero y Bedoya, 2022. Se ha evidenciado que en la mayoría de las especies de bosque seco las semillas no sobrepasan los 15 mm de largo (Romero-Saritama y Pérez-Ruiz, 2016), semillas de menor tamaño podrían responder a una adaptación a las épocas secas, debido a que son menos susceptibles a sufrir desecación (Narayan y Pandey, 2014; Jímenez, 2017). Adicionalmente, las especies con semillas de tamaño pequeño tienen una ventaja al momento de transportar y almacenar la cantidad suficiente para su conservación a largo plazo, debido a que se necesitaría menor espacio de almacenamiento (Romero y Perez, 2016).

Teniendo en cuenta el contenido de humedad y el tamaño de las semillas se puede obtener información sobre la tolerancia a la desecación de las especies. Semillas con tamaños iguales o mayores a 17 x 13 mm de largo y ancho han sido consideradas como recalcitrantes y encontradas con mayor frecuencia en los bosques lluviosos tropicales (Chin et al.1989; Daws et al. 2005), y especies con un contenido de humedad inicial inferior al 15% corresponden a semillas potencialmente ortodoxas (Hong y Ellis, 1996). De las once especies del magdalena, reportadas en el presente trabajo, *P. latifolia, Q. odoratissima, R. aculeata* y *C. obovata*, presentan una humedad mayor a 15% (Tabla 2), al contrastar este dato con el obtenido en tolerancia a la desecación se puede inferir que las especies *P. latifolia, Q. odoratissima, G. americana, S. saponaria* y *Ac. nigricans* son potencialmente recalcitrantes.

Las especies *Ap. schomburgkii, R. aculeata, G. rusbyi* y *C. obovata* aumentaron su viabilidad después de disminuir su humedad y congelarlas, este aumento se puede deber

a la posmaduración que describe el crecimiento de embriones subdesarrollados que debe ocurrir en semillas de algunas especies antes de que puedan germinar y romper la latencia durante la incubación en condiciones frías (húmedas) (Baskin y Baskin, 2020); por lo que, debido a esta posmaduración, estas especies pueden llegar a experimentar una segunda latencia que se debe romper para optimizar su germinación.

La baja tolerancia a la desecación por parte de semillas grandes se evidencia también en la correlación positiva del diámetro equivalente con el peso y una relación negativa significativamente con la tolerancia a la desecación, por lo que a mayor tamaño de la semilla menor tolerancia a la desecación (Anexo D), esto se cumple para las semillas de mayor tamaño excepto para la especie *C. obovata,* la cual teniendo en cuenta los resultados de la prueba de tolerancia a la desecación, es una especie potencialmente ortodoxa, al igual *que Ap. schomburgkii, R. aculeata, G. rusbyi, P. carthagenensis* y *Z. schreberi* . Generalmente se ha indicado que semillas más pesadas (mayores a 3 gramos) con un alto contenido de humedad y la presencia de proteínas oleosinas que estabilizan los cuerpos grasos en semillas (Magnitskiy y Plaza, 2007), son más propensas a ser recalcitrantes, es decir que no sobreviven a la deshidratación (Dickie y Pritchard, 2002) esto se comprueba ya que la humedad presenta una relación positiva significativamente con el diámetro y negativa significativamente con el peso y la relación E/e (Anexo D), de lo que se puede inferir que 6 de las especies anteriormente mencionadas del estudio son potencialmente ortodoxas. Estas especies tienen las características más adecuadas para implementar conservación ex situ*,* ya que respondieron de forma positiva a la deshidratación y congelamiento, manteniendo y en algunos casos hasta aumentando su viabilidad (Figura 1). Se deben realizar monitoreos a diferentes tiempos de almacenamiento, en la presente investigación se congelaron durante 3 meses, lo ideal es realizar otros monitoreos a los 6, 9 y 12 meses para obtener una mayor información sobre el comportamiento de estas especies en almacenamiento a largo plazo.

Adicionalmente, 5 de estás 6 especies se agruparon como las más pequeñas (Figura 3), este tamaño característico les confiere una permanencia de largo tiempo en el suelo del bosque, debido a que se incorporan a capas profundas con facilidad lo cual disminuye las perdidas por depredación, a diferencia de lo que sucede con semillas grandes (Saatkamp et al., 2014), generando abundantes bancos de semillas (Khurana y Singh, 2001), también son representativas de etapas tempranas de sucesión (Grisscom, 2005).

La forma de los embriones encontrados para cada género y familia coincide con lo reportado por Martin, 1946. En cuanto a la superficie del embrión relativa al endospermo, esta corresponde a menos de un cuarto de la semilla en las especies *P. latifolia, G. rusbyi, R. aculeata* y *P. carthagenensis;* en las especies *C. obovata, G. americana, Z. schreberi* corresponde a más de la mitad de la semilla y fue mayor el área del embrión que el del endospermo en *Ac. nigricans* y *Ap. schomburgkii,* clasificación que corresponde a lo reportado según Martin, 1946.

La relación E/S fue menor a 0,5 en las especies *P. carthagenensis, C. obovata y S. saponaria*, por lo que estás especies pueden llegar a presentar latencia morfológica o morfofisiológica (Baskin y Baskin, 2014). Según la relación reportada por Fornis et al., 2002 para cada familia, las especies *C. obovata, R. aculeata, Ap. schomburgkii y Q. odoratissima* tienen una relación dentro del rango encontrado, sólo dos especies (*S. saponaria y Z. schreberi*) registraron una relación por debajo del rango y cuatro especies *G. americana, P. latifolia, G. rusbyi* y *Ac. nigricans* registraron una relación por encima del rango; estas variaciones se pueden deber a cambios ambientales o filogenéticos, para llegar a conocer el origen de esta respuesta es necesario ampliar el muestreo teniendo semillas de un mayor número de individuos y de más especies del mismo género.

El grosor de la testa fue el rasgo que menos variabilidad presentó, diez de las once especies presentaron un grosor menor de 0.3mm, siendo *Ap. schomburgkii* y *P.latifolia* las especies con la testa más delgada, lo que hace que sea más sencillo superar la primera línea de permeabilidad (Vozzo, 2010). La especie *S. saponaria* es la especie con la testa más gruesa de todas las especies, por lo que lo más probable es que tenga latencia física.

Conforme al análisis de componentes principales se evidencia que los dos primeros componentes permiten agrupar algunas especies según su tamaño, peso y grosor de la testa (*P. latifolia* y *S. saponaria*) separándolas del resto que quedan agrupadas en la parte central. Por lo que no se evidencia una formación de más grupos en estos dos primeros componentes (Figura 2.). La interacción que sobresale de este análisis son las variables inversamente correlacionadas, E/S y viabilidad, en donde a medida que disminuye la relación E/S, aumenta la viabilidad; por lo que semillas con embriones pequeños tendrán un mayor porcentaje de viabilidad.

Conocer estos rasgos contribuye no sólo a la conservación *in situ* y también a la *ex situ*, ya que para poder conservar el germoplasma a largo plazo se debe disminuir el porcentaje de humedad relativa de la semilla, almacenarlas a bajas temperaturas y realizar monitoreos periódicos para registrar la respuesta de cada especie a la conservación (Di Sacco et al., 2020), por lo cual las especies ortodoxas son las más apropiadas para realizar una conservación ex situ, al resistir la disminución de su humedad relativa, en el caso del presente trabajo serían: *C. obovata, Ap. schomburgkii, R. aculeata, G. rusbyi, P. carthagenensis* y *Z. schreberi;* las especies que por su relación E/S es más probable que tenga latencia morfofisiológica o fisiológica son: *P. carthagenensis, C. obovata y S. saponaria,* por lo que al momento de su propagación se deben considerar tratamientos pre germinativos que contribuyan a romper la latencia.

7.2 Caracterización de tratamientos pregerminativos en 5 especies arbóreas de bs-T

Dentro de las especies trabajadas, *S. saponaria* es la que presenta una mayor cantidad de estudios de germinación previos (Sanchez y Silva, 2008; Soihet y Mendez, 2000; Román et al., 2012), pero en la mayoría evaluaron sólo el porcentaje de germinación. Uno de los trabajos más actuales en donde se evaluó también el tiempo de germinación fue el realizado por Román et al. en el 2012, en donde utilizaron el tratamiento pre germinativo de escarificación física con una posterior imbibición durante 12 horas, obteniendo un promedio de germinación del 60% la cual sucede entre los 10 y 25 días después de la siembra; lo cual contrasta mucho con los resultados encontrados en donde a los 11 días se obtuvo un 90% de germinación con un solo tratamiento pregerminativo, rompiendo la latencia física de una forma más eficiente. Para la especie *P. latifolia* se han realizado pocos ensayos de germinación (Román et al., 2012), el más reciente fue en el 2018 por Mancipe, en donde se reportó una germinación del 86% en un tiempo de 67 días; al compararlo son los ensayos realizados en el presente trabajo se evidencia una mayor germinación (98%) en un tiempo total de 40 días, optimizando la germinación. Estas dos especies son las más grandes de las 11 evaluadas; el tamaño y el peso junto con la baja tolerancia a la desecación las agrupa según sus rasgos en común (Figura 2, Anexo B), pero responden de manera diferenciada a los tratamientos pre germinativos evaluados, ya que *S, saponaria* optimizó su germinación con el tratamiento 1, mientras que *P. latifolia* la optimizó con el tratamiento 2; dos de los rasgos que llegan a explicar esta diferencia son el grosor de la testa, que es mayor en *S. saponaria* (1.26mm, Anexo B) y la relación

embrión endospermo que es mayor en *P. latifolia* (0.13, Anexo B). La testa de *S. saponaria* es permeable ya que aumenta su peso al embeber la semilla (resultados no mostrados) lo que permite una activación del metabolismo de la semilla progresivo y no tan repentino como sucedería con una escarificación física. Conforme a *P. latifolia,* al tener endospermo, el cual se considera que limita la germinación puesto que actúa como una barrera física para el crecimiento del embrión (Baskin y Baskin, 2005), al escarificar con el peróxido es probable que este haya debilitado el endospermo permitiendo un crecimiento del embrión en menos tiempo y en mayor cantidad de semillas que al usar sólo la imbibición como tratamiento; como se evidenció por parte de Msanga y Maghembe (1989), al remojar semillas de *Vangueria infausta* en peróxido durante 30 minutos, redujó eficazmente la microflora y estimuló la germinación. En semillas de otras especies con tamaños similares a estas dos especies, se debe tener en cuenta también el grosor de la testa, la presencia y tamaño de endospermo al momento de escoger el tratamiento pre germinativo más adecuado para optimizar la obtención de plántulas en especies con este tipo de semillas.

La especie *G. americana* al ser ampliamente utilizada su madera para construcción, y sus frutos para consumo humano y realización de tatuajes temporales (Román et al., 2012), se han realizado varios ensayos para promover su propagación y conservación (Rojas y Torres, 2019; Ramirez, 2009); dentro de los más recientes se encuentra el ensayo realizado por Rojas y Torres en el 2019, en donde se expuso a las semillas a un tratamiento pregerminativo escarificando físicamente la testa, obteniendo una germinación entre 60 a 84%, de 35 a 70 días después de la siembra. El mayor porcentaje de germinación obtenido en la presente investigación fue de 78%, lo cual está dentro del rango previamente reportado, sin embargo, la mediana del tiempo medio de germinación fue mucho más bajo, ya que en 26 días se logró la máxima germinación, optimizando el quiebre de la latencia en menos tiempo al reportado por Rojas y Torres. El tratamiento 1 fue el que optimizó la germinación de esta especie, esto debido principalmente a la permeabilidad de la testa (resultados no mostrados) y a que el área del embrión es mayor que la del endospermo (E/e= 0.57), lo que permite una elongación del embrión de forma más rápida como en el caso de *P. latifolia.* Comparte varios rasgos principalmente con las especies *G. rusbyi, Z. schreberi,* y *P. carthagenensis* (Figura 2) por lo que es probable que el mismo tratamiento pre germinativo llegue a optimizar la germinación de estas especies.

Los pocos trabajos previos sobre la germinación de *Q. odoratissima* no indican puntualmente que germinación llega a tener la especie ni un tratamiento pregerminativo específico, en un trabajo realizado en el 2016 por López et al., reporta que se propaga por semilla pero que la información sobre sistemas y métodos de propagación en vivero es escasa. En el otro trabajo realizado en el 2020 por Londoño et al., se indica que tiene germinación media pero no se profundiza al respecto. En el presente trabajo se obtuvo una germinación del 67% en 17 días, presentando un primer reporte del comportamiento germinativo de la especie, con el tratamiento 2 de peróxido de hidrógeno. Al comparar la germinación con el ensayo control es significativamente más alta con el tratamiento 2, es probable que el peróxido remueva alguna capa de células que permita activar la germinación de una forma más rápida y uniforme (Msanga y Maghembe, 1989) (Figura 4), pero es necesario realizar pruebas a nivel fisiológico durante la germinación para confirmar esta hipótesis. La especie con la cual comparte el mayor número de rasgos es *C. obovata,* por lo que es probable que el tratamiento 2 también optimice la germinación de esta especie.

De forma similar a *Q. odoratissima,* se presenta el primer reporte sobre la germinación de *A. nigricans*, al obtener un 100% de germinación en un tiempo de 13 días utilizando el tratamiento de imbibición en agua durante 24 horas, esto se puede deber a una activación de la germinación durante la imbibición al tener una testa permeable (datos no mostrados) y al ser la especie que tiene la mayor relación embrión/endospermo (1.1 Anexo B), lo que facilita su germinación.

Las especies que no germinaron en los ensayos realizados son semillas pequeñas con un diametro menor a 5mm, excepto *C. obovata* (6.33mm), las cuales necesitan una mayor cantidad y calidad de luz para germinar (Milberg et al., 2000; Fenner y Thompson, 2005) por lo que se recomienda realizar primero los ensayos en caja Petri, lo cual permitirá tener un mayor control sobre esta condición tan importante, aumentando la probabilidad de obtener una buena germinación e información más certera conforme a la respuesta de las especies a los tratamientos pre germinativos que se vayan a evaluar.

Conforme a las correlaciones obtenidas utilizando todos los rasgos evaluados se obtiene que los rasgos de diámetro equivalente y peso están positiva y significativamente correlacionados con los índices de germinación medidos ($p<0.05$) (Anexo I), esto debido a que las especies de las cuales se obtuvo resultados en las pruebas de germinación son la de mayor tamaño y peso, adicionalmente también para todos los índices se obtuvo una correlación negativa y significativa con la tolerancia a la desecación ($p<0.01$), esto también debido a que las 5 especies que germinaron son potencialmente recalcitrantes. Otro de los rasgos con el que se obtuvo una correlación negativa y significativa fue la relación área de embrión/ área de la semilla ($p<0.01$) pero sólo con los índices en el tratamiento 1 y 2, con el tratamiento 0 no se obtuvo una correlación significativa (Anexo I), este también está ligado a las semillas de especies con mayor tamaño, que fueron las que germinaron. Adicionalmente, uno de los rasgos que obtuvo una correlación positiva y moderada fue el de la humedad, en los dos tratamientos pregerminativos (T1 y T2), con el T50 ($r=0.6$), esto contrasta con lo encontrado en otras especies del bs-T por Londoño-Lemos et al., 2024, en donde el T50 indicó que las semillas con menor contenido de humedad alcanzaron un 50% de germinación más rápido que las semillas con mayor contenido de humedad iniciando el proceso de germinación antes, mientras que en el presente estudio germinaron más rápido las que presentaron un mayor contenido de humedad. Esto se debe principalmente a que las semillas que germinaron en el presente estudio, todas son potencialmente recalcitrantes, de mayor tamaño y contenido de humedad.

Las demás correlaciones no fueron significativas y la menor correlación encontrada fue con el grosor de la testa, el cuál es un rasgo muy importante en los procesos de germinación ya que la absorción de agua por parte de la semilla está directamente influenciada por la presencia de la testa y la permeabilidad que ésta tenga; ambas características están relacionadas con el intercambio gaseoso (Bewley y Black, 1994). Por lo que no sólo se debe tener en cuenta el grosor de la testa sino identificar si esta es impermeable. En el caso de las 11 especies evaluadas se identificó que la testa de *S. saponaria* es impermeable ya que cambiaba su textura al momento de hacer los tratamientos de imbibición. Esto se hizo evidente para la mayoría de las especies, excepto para *P. latifolia, G. rusbyi* y *Ap. schomburgkii*, las cuales no presentaron ningún cambio en la textura de su testa durante la imbibición, por lo que se infiere que son impermeables. Al ser la mayoría permeables esto confiere una ventaja en el caso de las dinámicas del Bs-t ya que la germinación de semillas se produce generalmente al inicio del periodo de lluvias,

(pero depende de la existencia de condiciones propicias de precipitación, temperatura y disponibilidad de luz o sombra (Hammond, 1995) por lo que el banco de semillas de las especies pioneras permanecerá en latencia hasta que se den las condiciones óptimas para germinar.

Finalmente, para las comunidades interesadas en utilizar estas especies en procesos de restauración locales y con base en los rasgos evaluados, se recomienda tener en cuenta principalmente características básicas como el tamaño de las semillas y el grosor de la testa que permite obtener una primera información de qué semillas priorizar en la germinación y cuales llegan a resistir un poco más en un almacenamiento con baja humedad. Si se tiene la posibilidad de equipos básicos en un laboratorio, tener en cuenta características como humedad, forma y tamaño del embrión, esto permitirá tener una mayor certeza de cuales especies son más probables de presentar algún tipo de dormancia o de ser sensibles a la desecación.

8. CONCLUSIONES

- Se presenta una descripción morfoanatómica de la semilla, basada en ocho rasgos funcionales para las once especies arbóreas: *C. obovata, Ap. schomburgkii, R. aculeata, G. rusbyi, P. carthagenensis, Z. schreberi, Ac. Nigricans, S. saponaria, P. latifolia, G. americana y Q. odoratissima,* del bosque seco tropical del Magdalena medio.
- Teniendo en cuenta los rasgos medidos y la respuesta a la tolerancia a la desecación las especies con mayor potencial para realizar conservación ex situ son: *C. obovata, A. schomburgkii, R. aculeata, G. rusbyi, P. carthagenensis* y *Z.*

schreberi. De las cuales, en el presente trabajo, se logró una conservación durante 3 meses en condiciones ex situ.

- De acuerdo con el análisis de germinación utilizando dos tratamientos pre germinativos y teniendo en cuenta los resultados de los índices: porcentaje de germinación, tiempo y velocidad media de germinación, para cada una de las especies se puede determinar que el tratamiento de imbibición con agua por 24 horas optimiza la germinación de las especies. *A. nigricans*, *G. americana y S. saponaria. Para las especies P. latifolia y Q. odoratissima el tratamiento con* escarificación con peróxido de hidrógeno mejora los índices de germinación.

9. ANEXOS

A. Descripción morfológica de semillas de 11 especies del bs-T

Se presenta la descripción morfológica interna y externa de la semilla y el embrión, por medio de fotografías compuestas de imagen completa externa y corte longitudinal; las partes de la semilla se indican con círculos de colores: con color amarillo el grosor de la testa, con azul el endospermo y con rojo el embrión.

1. *Coccoloba obovata* Kunth. Familia Polygonaceae

Tamaño: 8.15 mm de largo (7.7 a 8.8 mm), 5.62 mm de ancho (5.3 a 5.9 mm) y 5.5mm de grosor (5.9 a 5mm). **Peso:** 0.08g (0.05 a 0.1g.). **Apariencia externa:** Forma cónica, la parte basal es más angosta y la superior más ancha. La testa es rugosa, estriada de color negro con unos pequeños gránulos color café sobre toda la superficie (Imagen 3). **Corte:** Embrión tipo periférico (Martín, 1946), que tiene un área de 5mm (4.7 a 5.3mm) y está ubicado en la parte central de la semilla, tiene color blanco. Presencia de endospermo blanquecino de textura suave a firme que rodea el embrión, y una testa con un grosor de 0.3mm (0.27 a 0.35mm).

Imagen 3. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *C. obovata.*

2. *Zanthoxylum schreberi* (J.F.Gmel.) C.Nelson. Familia Rutaceae

Tamaño: 2.7mm de largo (2.5 a 3mm), 3mm de ancho (2.6 a 3.3mm) y 2.5mm de grosor (2.4 a 2.6mm). **Peso:** 0.01g (0.007 a 0.01g). **Apariencia externa:** Forma obovoide (Niembro, 1988), cicatriz del hilum profunda. La testa es ligeramente rugosa, color negro lustroso, oleaginosa. **Corte:** Embrión tipo espatulado (Martín 1946), tiene un área de 0.88mm (0.85 a 0.92mm) y se encuentra ubicado en la parte central de la cavidad seminal, tiene color blanco (Imagen 4). Presencia de endospermo transparente de textura blando a carnoso que rodea el embrión. Tiene una testa con un grosor de 0.34mm (0.25 a 0.42mm).

Imagen 4. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *Z. schreberi*.

3. *Sapindus saponaria* L. Familia Sapindaceae

Tamaño: 12mm de largo (11.8 a 12.8mm), 11.15mm de ancho (10.4 a 11.3mm) y 10.5mm de grosor (10.1 a 10.8mm). **Peso:** 0.9g (0.78 a 1.02g). **Apariencia externa:** Forma esférica (Niembro, 1988), hilum evidente. Testa ligeramente estriada, color negro opaco (Imagen 5). **Corte:** Embrión tipo doblado (Martín, 1946), con un área de 44mm (43.8 a 44.8mm),

se encuentra ubicado en la parte central de la semilla, tiene color blanco. Sin presencia de endospermo. La testa tiene un grosor de 1.3mm (0.94 a 1.66mm).

Imagen 5. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *S. saponaria.*

4. *Guettarda rusbyi* Standl. Familia Rubiaceae

Tamaño: 6.36mm de largo (6 a 7.1mm), 4.3mm de ancho (3.5 a 4.6mm) y 3.91mm de grosor (3.4 a 4.5mm). **Peso:** 0.07g (0.05 a 0.08g). **Apariencia externa:** Forma obovoide (Niembro, 1988). La testa es de color café anaranjado y está cubierta de estrías alargadas blanquecinas perceptibles al tacto (Imagen 6). **Corte:** Al momento de realizar el corte se evidencian 4 carpelos, cada uno contiene un embrión tipo espatulado rudimentario (Martín 1946) pero sólo un embrión es viable, con un área de 3.5mm (3.2 a 4.2mm). El embrión está ubicado en la parte central en donde se unen los demás embriones de los otros 3 carpelos, es de color blanco. Presencia de endospermo con textura carnosa a dura. La testa tiene un grosor de 0.15mm (0.12 a 0.17mm).

Imagen 6. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *G. rusbyi*.

5. *Achatocarpus nigricans* Triana. Familia Achatocarpaceae

Tamaño: 4mm de largo (3.6 a 4.3mm), 4.4mm de ancho (4.1 a 4.8) y 2.5mm de grosor (2.4 a 2.7mm). **Peso:** 0.02g (0.017 a 0.02g). **Apariencia externa:** Forma circular (Niembro, 1988). La testa es de color negro opaco y tiene una cubierta de textura papirosa color beige (Imagen 7). **Corte:** Embrión tipo anular (Martín, 1946), con un área de 12mm (11.3 a 12.6mm), ubicado en la parte opuesta al hilum, es alargado formando un arco siguiendo la misma forma de la semilla, es de color beige. Presencia de endospermo blanco harinoso que se encuentra en la mitad de la semilla. La testa tiene un grosor de 0.13mm (0.06 a 0.2mm).

Imagen 7. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *A. nigricans*.

6. *Randia aculeata* L. Familia Rubiaceae

Tamaño: 5.3mm de largo (4.8 a 5.9mm), 3.7mm de ancho (2.9 a 4.2mm) y 1.2mm de grosor (1 a 1.4mm). **Peso:** 0.02g (0.01 a 0.02g). **Apariencia externa:** Forma elíptica (Niembro, 1988). Testa ligeramente estriada tipo red, es de color café claro. **Corte:** Embrión tipo espatulado (Martín, 1946), con área de 2.6mm (2.5 a 2.7 mm), ubicado en la parte central de la cavidad seminal, tiene color blanco (Imagen 8). Presencia de endospermo firme rodeando el embrión. La testa tiene un grosor de 0.19mm (0.16 a 0.2mm).

Imagen 8. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *R. aculeata.*

7. *Psychotria carthagenensis* Jacq. Familia Rubiaceae

Tamaño: 2.8mm de largo (2.5 a 3mm), 2.8mm de ancho (2.5 a 3mm) y 1.6mm de grosor (1.3 a 1.8mm). **Peso:** 0.007g (0.004 a 0.01g). **Apariencia externa:** Forma semiesférica (Niembro, 1988). La testa presenta de 5 a 5 crestas pronunciadas en la cara cóncava, la parte aplanada no presenta crestas, en esta parte se encuentra el hilum. La testa es de color crema y presenta unos pequeños puntos blancos por toda la superficie (Imagen 9). **Corte:** Embrión tipo espatulado (Martín, 1946), con área de 0.28mm (0.2 a 0.3mm) ubicado en la parte central de la semilla, tiene color beige. Endospermo firme color café-naranja rodeando el embrión. La testa tiene un grosor de 0.15mm (0.11 a 0.2mm).

Imagen 9. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *P. carthagenensis.*

8. *Apeiba schomburgkii* Szyszył.Famillia Malvaceae

Tamaño: 2.6mm de largo (2.4 a 2.8mm), 2mm de ancho (1.9 a 2.1mm) y 1.2mm de grosor (1.1 a 1.3mm). **Peso:** 0.005g (0.004 a 0.005g). **Apariencia externa:** Forma ovoide (Niembro, 1988). La testa tiene una superficie rugosa irregular, color ámbar (Imagen 10).

Corte: Embrión doblado (Martín, 1946), con área de 2.2mm (2.1 a 2.2mm) ubicado en la parte central de la semilla, tiene color blanco. Endospermo firme y semitransparente rodeando el embrión. La testa tiene un grosor de 0.07mm (0.05 a 0.09mm).

Imagen 10. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *A. schomburgkii*.

9. *Genipa americana* L. Familia Rubiaceae

Tamaño: 8.4mm de largo (7 a 9.3mm), 6.6mm de ancho (5.6 a 7.5mm) y 2mm de grosor (1.2 a 2.6mm). **Peso:** 0.08g (0.06 a 0.09g). **Apariencia externa:** Forma discoide irregular (Niembro, 1988), algunas presentan aplanamientos en la testa. La testa tiene una superficie rugosa irregular, color beige a café. **Corte:** Embrión tipo espatulado (Martín, 1946), con área de 15.4mm (14.8 a 15.7mm) ubicado en la parte central de la superficie seminal, color blanco (Imagen 11). Endospermo firme, transparente, rodeando el embrión. La testa tiene un grosor de 0.3mm (0.2 a 0.31mm).

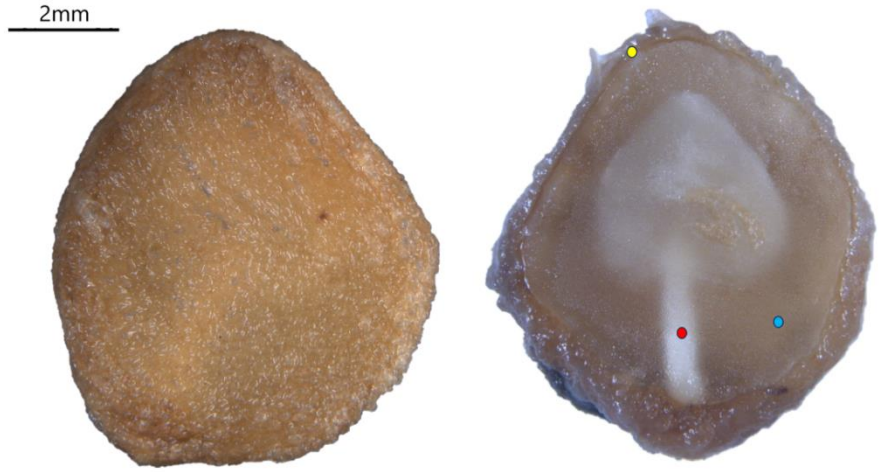


Imagen 11. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *G. americana.*

10. *Posoqueria latifolia* (Rudge) Schult. Familia Rubiaceae

Tamaño: 12.2mm de largo (11.6 a 13.3mm), 10mm de ancho (9.2 a 11.2mm) y 7.9mm de grosor (6.5 a 8.8mm). **Peso:** 0.71g (0.65 a 0.8g). **Apariencia externa:** Forma angulosa (Niembro, 1988). Testa con superficie irregular, lustrosa de color amarillo (Imagen 12). **Corte:** Embrión tipo espatulado (Martín, 1946), con área de 12.4mm (11.8 a 12.9mm) ubicado en la parte central de la semilla, color blanco. Endospermo firme, transparente, rodeando el embrión. La testa tiene un grosor de 0.09mm (0.05 a 0.1mm).

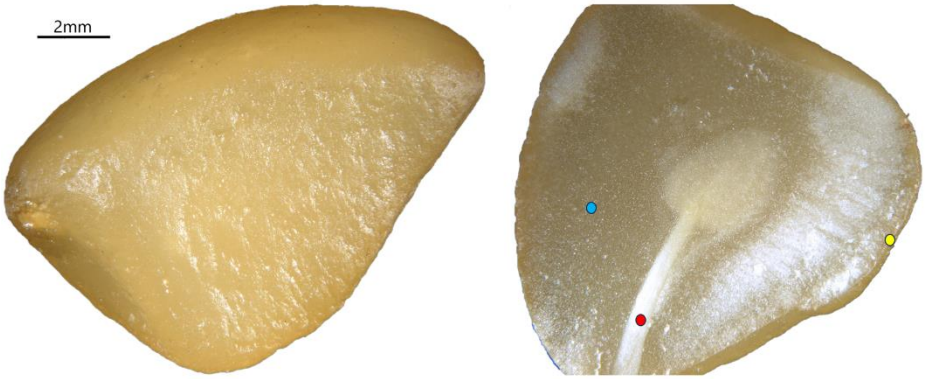


Imagen 12. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *P. latifolia.*

11. *Quadrella odoratissima* (Jacq.) Hutch. Familia Capparaceae

Tamaño: 9.5mm de largo (9 a 10.2mm), 5mm de ancho (4.9 a 5.3mm) y 4.4mm de grosor (4.1 a 4.8mm). **Peso:** 0.09g (0.07 a 0.1g). **Apariencia externa:** Forma ovoide (Niembro, 1988). Testa con superficie irregular, opaca, color marrón (Imagen 13). **Corte:** Embrión doblado (Martín, 1946), tiene un área de 20.1mm (19.7 a 20.5mm), ocupa el interior de la semilla en su totalidad y tiene un color verde. Sin endospermo. La testa tiene un grosor de 0.2mm (0.09 a 0.3mm).

Imagen 13. Semilla completa (izquierda) y corte longitudinal (derecha) de la especie *Q. odoratissima.*

B. Promedio de los rasgos funcionales obtenidos para las 11 especies del bs-T. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos de rasgos. Prueba posthoc de Duncan (alfa=0.05). Hum= Humedad, E/S= relación del largo del embrión sobre largo de la semilla, E/e= relación del área del embrión sobre el área del endospermo, De= diámetro equivalente, Gt= grosor de testa, Via= viabilidad, Tole= tolerancia a la desecación.

Especie	De (mm)	Peso (g)	Hum (%)	E/S	E/e	Gt (mm)	Via (%)	Tole (%)
P. latifolia	9.86b	0.71b	57.7a	0.73de	0.13d	0.09e	60.3 c	0 c
G. americana	6.33c	0.09c	22.94d	0.4g	0.81c	0.29bcd	43.3 d	0 c
A. nigricans	5.95d	0.09c	44.56b	0.83c	0d	0.13de	15 h	6.6 c
S. saponaria	4.79e	0.08c	13.75e	0.72e	0.57c	1.26a	80 a	0 c
Q. odoratissima	4.75e	0.07cd	8.28f	0.91b	0.18d	0.17cde	8.3 i	0 c
R. aculeata	3.55f	0.02de	5g	3.06a	1.1b	0.19bcde	61 c	65 a
Z. schreberi	2.81g	0.02de	33.48c	0.6f	0.23d	0.34b	35 e	28.3 b
C. obovata	2.72g	0.01de	5.71g	0.55f	0.58c	0.31bc	18.3 gh	38.3 b
P. carthagenensis	2.31h	0.01de	8.74f	0.41g	0.05d	0.15cde	26.6 f	23.3 b
G. rusbyi	11.2a	0.91a	12.64e	0.53f	0d	0.15cde	23 fg	27.2 b
A schomburgkii	1.88i	0.01e	8.35f	0.79cd	7a	0.07e	73.3 b	75

C. Loadings y proporción de la varianza del análisis de componentes principales de los rasgos funcionales de las semillas de 11 especies del bs-T. **Abreviaciones: Relación entre el área del embrión y el área del endospermo (E/e), Relación entre el largo de la semilla y largo del embrión (E/S), diámetro equivalente (De), tolerancia a la desecación (Tole), humedad (Hum), grosor de la testa (Gt) y viabilidad (Via).**

Rasgos	Comp. 1	Comp. 2
E/e	-0.49	0.63
E/S	-0.24	-0.49
De	0.95	-0.02
Tole	-0.63	0.64
Hum	0.42	-0.08
Gt	0.70	0.22
Peso	0.93	0.20
Via	0.40	0.79
Proporción de la varianza	41.3	22.2

D. Correlación de Spearman entre los rasgos morfológicos de 11 especies del bs-T. En las variables: E/e= relación del área del embrión sobre el área del endospermo, E/S= relación del largo del embrión sobre largo de la semilla, De= diámetro equivalente, Tole= tolerancia a la desecación, Hum= Humedad, Gt= grosor de testa, Via= viabilidad. M y SD representan el promedio y la desviación estándar, respectivamente. Valores en corchetes indican el 95% de intervalo de confianza para cada correlación. El Intervalo de confianza es un rango de correlaciones plausible que pudieron haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica p<.05. **indica p<.01

Variable	*M*	*SD*	1.E/e	2. E/S	3.De	4. Tole	5. Hum	6.Gt	7. Peso
1. E/e	0.02	0.53							
2. E/S	0.02	0.44	.23						
			[-.57, .80]						
3. De	0.21	0.61	-.92**	-.13					
			[-.99, -.60]	[-.77, .63]					
4. Tole	-0.04	0.57	.86**	-.14	-.94**				
			[.40, .97]	[-.77, .63]	[-.99, -.71]				
5. Hum	0.17	0.46	-.82*	-.14	.77*	-.68			
			[-.97, -.28]	[-.77, .63]	[.14, .96]	[-.94, .04]			
6. Gt	0.11	0.46	-.53	-.72*	.55	-.40	.20		
			[-.90, .27]	[-.94, -.03]	[-.26, .90]	[-.86, .43]	[-.59, .79]		
7. Peso	0.21	0.61	-.93**	-.14	1.00**	-.94**	.78*	.54	
			[-.99, -.64]	[-.77, .63]	[.99, 1.00]	[-.99, -.70]	[.18, .96]	[-.27, .90]	
8. Via	0.13	0.36	-.11	-.39	-.06	.07	.01	.06	-.03
			[-.76, .64]	[-.86, .44]	[-.73, .67]	[-.67, .74]	[-.70, .71]	[-.68, .73]	[-.72, .69]

E. Promedio de los índices evaluados en la germinación de las cinco especies nativas del bs-T. Letras diferentes indican diferencia significativa. PG= Porcentaje de la germinación. VMG= velocidad media de la germinación. T50= tiempo medio de la germinación. T0= Control. T1= Imbibición. T2= Peróxido de hidrógeno.

Especie	Tratamiento	PG		VMG		T50	
Achatocarpus nigricans	T0	90	a	1.1	a	15	a
	T1	93.3	a	1.2	a	14	b
	T2	88.3	a	1.2	a	14	b
Genipa americana	T0	61.7	a	0.4	b	33	a
	T1	78.3	a	0.7	a	23	c
	T2	75	a	0.6	ab	26	b
Sapindus saponaria	T0	81.7	a	1.1	a	13	a
	T1	83.3	a	1.5	a	10	b
	T2	60	b	1.1	a	7	b
Posoqueria latifolia	T0	86.7	b	0.3	b	49	a
	T1	91.1	ab	0.4	a	36	b
	T2	97.8	a	0.4	a	39	b
Quadrella odoratissima	T0	1.7	c	0.1	b	0	b
	T1	51.7	b	0.8	a	15	a
	T2	66.7	a	1	a	15	a

F. Datos correspondientes a los modelos lineales y lineales generalizados **con base en el porcentaje de germinación. P<0.05 indica significancia.**

Especie	Modelo	Coeficientes	Estimate	t value	Pr(>|t|)	P- valor
A. nigricans	Lineal	T1	3.33	0.54	0.604	0.718
		T2	-1.66	-0.27	0.793	
G. americana	Lineal	T1	16.66	1.68	0.143	0.280
		T2	13.33	1.34	0.227	
P. latifolia	Lineal	T1	4.44	1.09	0.31	0.085
		T2	11.11	2.74	0.033	
Q. odoratissima	Lineal	T1	50	5	0.002	0.0001
		T2	65	6.5	0.0006	
Especie	**Modelo**	**Coeficientes**	**Estimate**	**z value**	**Pr(>|z|)**	
S. saponaria	Lineal generalizado	T1	0.02	0.22	0.82	
		T2	-0.31	-3.14	0.001	

G. Datos correspondientes a los modelos lineales con base en la velocidad media de germinación. P<0.05 indica significancia.

Especie	Modelo	Coeficientes	Estimate	t value	Pr(>|t|)	P- valor
A. nigricans	Lineal	T1	0.097	0.88	0.412	0.639
		T2	0.089	0.81	0.446	
G. americana	Lineal	T1	0.318	3.64	0.011	0.028
		T2	0.205	2.35	0.057	
S. saponaria	Lineal	T1	0.331	0.71	0.501	0.699
		T2	-0.034	-0.07	0.943	
P. latifolia	Lineal	T1	0.169	4.01	0.007	0.018
		T2	0.115	2.73	0.034	
Q. odoratissima	Lineal	T1	0.745	3.82	0.008	0.006
		T2	0.959	4.92	0.002	

H. Datos correspondientes a los modelos lineales con base en la mediana del tiempo medio de germinación. P<0.05 indica significancia.

Especie	Modelo	Coeficientes	Estimate	t value	Pr(>|t|)	P- valor
A. nigricans	Lineal	T1	-1.4386	-2.172	0.0729	0.167
		T2	-1.8867	-2.848	0.0292	
G. americana	Lineal	T1	-9.76	-3.584	0.01158	0.784
		T2	-6.707	-2.463	0.04891	
S. saponaria	Lineal	T1	-2.703	-0.9441	0.3816	0.242
		T2	-6.483	-2.264	0.06417	
P. latifolia	Lineal	T1	-12.98	-6.221	0.0007	0.147
		T2	-10.61	-5.085	0.002255	
Q. odoratissima	Lineal	T1	1.49E+01	7.274	0.0003	0.204
		T2	1.53E+01	7.445	0.0003	

I. Correlación de Spearman entre los rasgos funcionales de 11 especies del bs-T. Tto= Tratamiento. Los índices: PG= Porcentaje de la germinación, VMG= velocidad media de la germinación, T50= tiempo medio de la germinación. En las variables: E/e= relación del área del embrión sobre el área del endospermo, E/S= relación del largo del embrión sobre largo de la semilla, De= diámetro equivalente, Tole= tolerancia a la desecación, Hum= Humedad, Gt= grosor de testa, Via= viabilidad. M y SD representan el promedio y la desviación estándar, respectivamente. Valores en corchetes indican el 95% de intervalo de confianza para cada correlación. El Intervalo de confianza es un rango de correlaciones plausible que pudieron haber causado la correlación de la muestra (Cumming, 2014). * indica p<.05. **indica p<.01

Índice	Tto	Rasgo	R	Índice	Tto	Rasgo	R	Índice	Tto	Rasgo	R
PG	T0	E_e	-0.49	VMG	T0	E_e	-0.48	T50	T0	E_e	-0.5
		E_S	0.43			E_S	0.4			E_S	0.39
		Deq	0.69*			Deq	0.69*			Deq	0.7*
		Tole	-0.91**			Tole	-0.91**			Tole	-0.91**
		Hum	0.23			Hum	0.18			Hum	0.28
		T_g	0.06			T_g	0.13			T_g	0.05
		Peso	0.69*			Peso	0.68*			Peso	0.7*
		Via	0.11			Via	0.1			Via	0.2
	T1	E_e	-0.68*		T1	E_e	-0.73*		T1	E_e	-0.72*
		E_S	0.51			E_S	0.43			E_S	0.49
		Deq	0.79**			Deq	0.83**			Deq	0.82**
		Tole	-0.96**			Tole	-0.98**			Tole	-0.97**
		Hum	0.5			Hum	0.45			Hum	0.59
		T_g	0.01			T_g	0.17			T_g	0.01
		Peso	0.79**			Peso	0.82**			Peso	0.82**
		Via	-0.09			Via	-0.13			Via	-0.13
	T2	E_e	-0.74**		T2	E_e	-0.72*		T2	E_e	-0.71*
		E_S	0.45			E_S	0.47			E_S	0.51
		Deq	0.82**			Deq	0.8**			Deq	0.79**
		Tole	-0.97**			Tole	-0.97**			Tole	-0.96**
		Hum	0.57			Hum	0.49			Hum	0.6
		T_g	0.03			T_g	0.09			T_g	-0.04
		Peso	0.82**			Peso	0.8**			Peso	0.8**
		Via	-0.11			Via	-0.22			Via	-0.17

10. Bibliografía

Albornoz, J. G, Bedoya, D, Forero, A. M, García, L. V, Peña, J. M, Rodriguez, K, Villa, F A, Poveda, L. F. 2022. Lista de fauna y flora presente en el humedal laguna El Toro, departamento del Tolima. Cortolima - Corporación Autónoma Regional del Tolima. Checklist dataset

Albrecht, J. 1993. Tree seed handbook of Kenya. Nairobi, Kenya: Gesellschaft für Technische Zusammenarbeir/Kenya Forestry Seed Centre Maguga, Kenya Forestry Research Institute. 264 p

Arnold, F. E. 1996. Manual de vivero forestal: Elaborado para algunas especies forestales nativas dela zona templada del Sur de Chile. Documento Técnico CONAF-DED. 123 pp.

Aronson J, Vallauri D, Jaffre, T, Lowry P II. 2005. Restoring Dry Tropical Forests. En: Mansourian S, Vallauri D, Dudley N., editores. (in cooperation with WWF International). Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees. New York: Springer. p. 285–290.

Banda, Karina R.; Delgado Salinas, Alfonso; Dexter, Kyle G.; Linares Palomino, Reynaldo; Oliveira Filho, Ary; et al.; Plant diversity patterns in neotropical dry forests and their conservation implications; American Association for the Advancement of Science; Science; 353; 6306; 9-2016; 1383-1387

Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 1998 Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego.

Baskin, J. M., Baskin, C. C. y Li, X. 2000. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds. Plant Species Biology, 15(2), 139–152.

Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2004 A Classification System for Seed Dormancy. Seed Science Research, 14, 1-16. http://dx.doi.org/10.1079/SSR2003150.

Baskin, C.C.; Baskin, J.M. 2005. Seed dormancy in trees of climax tropical vegetation types. TropicalEcology, Varanasi, v.46, n.1, p.17-28.

Baskin, C. and Baskin, J.M. 2014 Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego, 150-162.

Baskin CC, Baskin JM. 2020. Breaking seed dormancy during dry storage: a useful tool or major problem for successful restoration via direct seeding? Plants-Basel. 2020;9:636. doi: 10.3390/plants9050636.

Bates, D, Mächler, M, Bolker, B, Walker, S. 2015. “Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4.” Journal of Statistical Software, 67(1), 1–48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

Bermeo, E.D. 2010. Determinación y caracterización de tipos funcionales de plantas (TFPs) en bosques secundarios dentro de un gradiente altitudinal y su relación con variables. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 118p.

Bernal, R., S.R. Gradstein y M. Celis (eds.). 2015. Catálogo de plantas y líquenes de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co

Bewley, J. D.; Black, M. 1978. Physiology and biochemistry of seeds. Berlin, Germany: Springer Verlag. [Not paged]. Vol. 1. Bewley, J. D.; Black, M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds. Berlin, Germany: Springer Verlag. [Not paged]. Vol. 2. Bewley, J. D.; Black, M. 1994. Seeds: Physiology of development and germination. 2ded. New York: Plenum Press. 445 p.

Bewley, J. D.; Black, M. 1994. Seeds: Physiology of development and germination. 2ded. New York: Plenum Press. 445 p.

Bonner, B. 1966. Phytochrome and the red, farred system. In: Jensen, W. A.; Kavaljian, L. G., eds. Plant biology today: advances and challenges. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company, Inc.: 185-208

Bray CM. 1995. Biochemical Processes during the Osmopriming of Seeds. In: Kigel J, Galili G, editors. Seed Development and Germination. Marcel Dekker, New York;67−789

Brown, S. y A. Lugo. 1994. Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development. Restoration. Ecology, 2: 97-111

Cabrera, M., y Ramírez, W. (Edits.). 2014. Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación. Bogotá, D.C: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Cairns J. 2002. Rationale for restoration. In: Perrow MR, Davy AJ (eds) Handbook of ecological restoration, vol 1. Principles of restoration. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp 10–23

Campo, J., Giardina, C., y Dirzo, R. 2023. "Tropical Dry Forest Restoration in an Era of Global Change: Ecological and Social Dimensions," Sustainability, MDPI, vol. 15(4), pages 1-5, February.

Cárdenas Camacho, L. M., Díaz-C, S. E. ., Gómez-Anaya, W. F. ., Rojas-Rojas, J. E. ., y López Camacho, R. 2021. Análisis participativo de servicios ecosistémicos en un área protegida del bosque secotropical (bs-T), Colombia. Colombia forestal, 24(1), 123–156.

Castañeda, S. L., Garzón, A. E., Cantillo, M. Á., Torres, M. P., & Silva, L. J. 2006. Análisis de la respuesta de ocho especies nativas del bosque alto andino ante dos métodos de propagación. Colombia Forestal, 10(20), 79–90

Cervilla, N.S.; Mufari, J.R.; Calandri, E. y Guzmán, C.A. 2012. Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de Chenopodium quinoa Willd. cosechadas en distintos años y provenientes de la Provincia de Salta. En II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y Países Limítrofes. 14-15 de Junio. Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional, Resistencia, Chaco, Argentina

Chin, H.F., Krishnapillay, B., Stanwood, P.C. 1989. Seed moisture: recalcitrant vs. orthodox seeds, En: Stanwood, P.C., McDonald, M.B (eds.), Seed Moisture, pp. 15–22. CSSA Special Publication No. 14. Crops Science Society of America, Madison, Estados Unidos.

Choi YD. 2004. Theories for ecological restoration in a changing environment: toward '"futuristic"' restoration. Ecol Res 19:75–81. https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00594_19_1.x

Costa L.M., Gutiérrez-Marcos J.F. and Dickinson H.G. 2004.More than a yolk: the short life and complex times of the plant endosperm. Trends in Plant Science 9:507-514

Daróczi G, Tsegelskyi R. 2022. pander: An R 'Pandoc' Writer. R package version 0.6.5, <https://CRAN.R-project.org/package=pander>.

Daws, M.I., Garwood, N.C., Pritchard, H.W. 2005. Traits of recalcitrant seeds in a semi-deciduous tropical forest in Panamá: Some ecological implications. Functional Ecology 19: 874-885.

Dayrell et al., 2016; Di Sacco et al., 2018; Espitia et al., 2017; Sánchez and Furrazola, 2018; Sánchezet al., 2018a.

de Mendiburu F. 2023. _agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research_. R package version 1.3-7, <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.

Díaz, J.M. 2006. Bosque Seco Tropical Colombia. Banco de Occidente, I/M Editores. Cali, Colombia.

Dickie, J.B., Pritchard, H.W., 2002. Systematic and evolutionary aspects of desiccation tolerance in seeds. En: Black, M., Pritchard, H.W. (eds.), Desiccation and Survival in Plants: Drying without Dying, pp 239–259.CAB International, Wallingford, Reino Unido.

Dirzo, R., H.S. Young H.A. Mooney, y G. Ceballos. 2011. Introduction. Páginas XI–XIII en R. Dirzo, H.S.Young, H.A. Mooney, y G. Ceballos, editores. Seasonally Dry Tropical Forests. Island Press,Washington D.C., EE.UU.

Di Sacco, A.; Way, M.; Leon Lobos, P.; Suarez Ballesteros, C. I. 2018. Manual de recolección, procesamiento y almacenamiento de semillas de plantas silvestres. La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi. 63p.

Di Sacco, A.; Way, M.; León Lobos, P., Suárez Ballesteros, C. I., Díaz Rodriguez J. V. 2020. Manual de recolección, procesamiento y conservación de semillas de plantas silvestres. Royal Botanic Gardens, Kew e Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Donoso, C. 1993. Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, Estructura y Dinámica. Editorial Universitaria, Santiago de Chile. 483 pp.

Douglas Bates, Martin Maechler, Ben Bolker, Steve Walker. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.

Duncan, C.; Schultz, N.; Lewandrowski, W.; Good, M.K.; Cook, S. 2019. Lower dormancy with rapid germination is an important strategy for seeds in an arid zone with unpredictable rainfall. PLoS ONE, v. 14n. 9.

Espitia, M.; Cardona, C.; Campo, R.; Araméndiz, H.; Correa, E. 2017. Contribución al conocimiento de las semillas de cinco especies forestales nativas y dos exóticas de Córdoba, Colombia. Cordoba: FORCARIBE - Universidad de Cordoba.

Etter, A. 1993. Consideraciones generales para el análisis de la cobertura vegetal. Memorias del primer taller de cobertura vegetal. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, SIG-

PAFC (Sistema de Información Geográfica- Plan de Acción Forestal para Colombia). Bogotá, Colombia.

Etter, A., C. A. McAlpine, y H. Possingham. 2008. Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: a regionalized spatial approach. Annals of the Association of American Geographers 98:2– 23.

Evenari, M. et al., 1957. The beginning of cell division and cell elongation in germinating lettuce seeds. Bulletin of the Research Council of Israel, Section D. 6: 33-37.

FAO. 1991. The State of Food and Agriculture 1991. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Fenner, M., Thompson, K., 2005. The Ecology of Seeds. Cambridge University Press,Cambridge, UK, 263 pp. doi: 10.1079/SSR2005226

Flora de Nicaragua http://www.tropicos.org/projectwebportal.aspx?projectid=7ypagename=Homeylangid=66 World Flora Online Data. 2021. E Missouri Botanical Garden

Flores, E. M. 1999. La planta: estructura y función. Cartago, Costa Rica: Editorial Libro Universitario Regional. 884 p.

García H., G. Corzo, P. Isaacs y A. Etter. 2014. Distribución y estado actual de los remanentes del bioma de bosque seco tropical en Colombia: insumos para su gestión, capítulo 9. En: Pizano C. y H. García (eds.). 2014. El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

Garwood, N. 1996. Functional morphology of tropical tree seedlings. In: SWAINE, M. (ed.), The ecology of tropical forest tree seedlings, pp. 59-129. Parthenon Publishing, New York.

Gentry, A. 1995. Diversity and floristic composition of neotropical dry forest. Páginas 146–194 en S.H. Bullock, H.A. Mooney y E. Medina, editores. Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

Gleiser, G., Picher, M.C., Veintimilla, P., Martinez, J., Verdú, M. 2004. Seed dormancy in relation to seed storage behaviour in Acer. Botanical Journal of the Linnean Society 145:203–208. doi:10.1111/j.1095-8339.2003.00276.x

González K.V. y Camacho M.F. 1994. Avances en la propagación de cuatro especies presentes en El Pedregal de San Ángel D.F. En: Rojo A. Ed. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Ecología, Historia Natural y Manejo, pp. 403-410, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Gower JC. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics.

Griscom, H., Ashton, P. y Berlyn, G., 2005. Seedling survival and growth of tree of three native spicies in pastures: implications for dry forest rehabilitation. Forest Ecology and Managment, 218,306-318

Griscom HP, Ashton PMS. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of patter and process. Forest Ecol. Manage. 261(10):1564–1579. doi: 10.1016/j. foreco.2010.08.027.

Hammond, D. S. 1995. Postdispersal seed and seedling mortality of tropical dry forest trees after shifting agriculture, Chiapas, Mexico. Journal of Tropical Ecology, 11,295–313.

Hartmann, H. y Kester, D. 1977. Propagación de plantas. Principios y Prácticas. Continental. México.810 pp.

Hartmann, H. y Kester, D. 1988. Propagación de Plantas. México D.F. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 760 pp. Kemp, 1975

Hendricks, S. B.; Borthwick, H. A. 1967. The function of phytochrome in regulation of plant growth. Proceedings, National Academy of Sciences. 58: 2125- 2139

Hillman, W. S. 1969. The physiology of phytochrome. Annual Review of Plant Physiology. 18: 301-324.

Holdridge, L. R. 1967. Life Zone Ecology, Photographic supplement prepared by J.A. Tosi Jr., rev. ed. San José, Costa Rica:Tropical Science Center.

Hong T.D., Ellis R.H. 1996. A protocol to determine seed storage behavior. Technical Bulletin No. 1. Engels and Toll (eds). International Plant Genetic Resources Institute IPGRI, Rome, Italy. 62p.

Hong, T.D., Linington, S. y Ellis, R.H. 1998. Compendium of information on seed storage behaviour. Vol.1: A-H; Vol.2: I-Z. Royal Botanic Gardens, Kew

Idárraga, Á., Urrea, L., Roldán, F. & Cardona, F. 2016. Flora del Magdalena Medio: áreas deinfluencia de la Central Térmica Termocentro. ISAGEN – Universidad de Antioquia, HerbarioUniversidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Instituto Alexander von Humboldt. 2016. Diversidad funcional en los bosques de Colombia. http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2016/cap1/106/#seccion1

Iwasaki M, Penfield S, Lopez-Molina L. 2022. Parental and Environmental Control of Seed Dormancy in Arabidopsis thaliana. Annu Rev Plant Biol. May 20;73:355-378. doi: 10.1146/annurev-arplant-102820-090750. Epub 2022 Feb 9. PMID: 35138879.

Johnson R. Characterization of germination related genes in Avenafatua seeds. In: Black M, Bradford KJ, Vazquez-Ramos J, editors. Seed Biology Advances and Applications, Proceedings of the sixth International Workshop on Seeds, Mérida, México, 1999. CABI Publishing; 2000:1−17.

Jiménez-Alfaro B, Silveira FAO, Fildelis A, Poschlod P, Commander LE. 2016. Seed germination traits can contribute better to plant community ecology.Journal of Vegetation Science. 27: 637-645

Jímenez, F. A. 2017. Rasgos morfológicos de semillas de especies de páramo en el sur de Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja].

Kassambara A, Mundt F. 2020. _factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses_. R package version 1.0.7, <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>.

Khurana, E., y Singh, J. s. 2001. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. Environmental Conservation, 28(01), 39–52.

Kleyer, M., Bekker, R. M., Knevel, I. C., Bakker, J. P., Thompson, K., Sonnenschein, M. P., Poschlod, P., Van Groenendael, J. M., Klimeš, L., Klimešová, J., Klotz, S., Rusch, G. M., Hermy, M., Adriaens, D., Boedeltje, G., Bossuyt, B., Dannemann, A., Endels, P., Götzenberger, L., … Peco, B. 2008. The LEDA Traitbase: A database of life history traits of the northwest European flora. Journal of Ecology, 96, 1266–1274.

Kollmann J, Meyer ST, Bateman R, Conradi T, Gossner MM, Mendonça MS Jr, Fernandes GW, Hermann JM, Koch C, Müller SC, Oki Y, Overbeck GE, Paterno GB, Rosenfeld MF, Toma TSP, Weisser WW. 2016. Integrating ecosystem functions into restoration ecology—recent advances and future directions. Rest Ecol 24(6):722–730.

Kuhn M, Jackson S, Cimentada J. 2022. _corrr: Correlations in R_. R package version 0.4.4, <https://CRAN.R-project.org/package=corrr>.

Lambers H, Chapin IFS, Chapin FS and Pons TL 2008. Plant physiological ecology. Springer, New York

Lan Qin-ying , Xia Ke, Wang Xiao-feng, Liu Jun-wei, Zhao Jin, Tan Yun-hong. 2014. Seed storage behaviour of 101 woody species from the tropical rainforest of southern China: a test of the seed-coat ratio–seed mass (SCR–SM) model for determination of desiccation sensitivity. Australian Journal of Botany 62, 305-311

Larson JE, Funk JL. 2016. Regeneration: an overlooked aspect of trait-based plant community assembly models. Journal of Ecology 104:1284–1298.

Lavorel, S., Garnier, E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: Revisiting the Holy Grail. Functional Ecology 16: 545-556.

Leprince, O., Hendry, G. y McKersie, B. 1993. The mechanism of desiccation tolerance in developing seeds. Seed Sci. Res. 3, 231-246.

Londoño-Lemos, V., Herrera-Medina, Y., Hernández-Vélez, C.A. 2020. Propagación participativa del bosque seco tropical en los Montes de María. Experiencias de propagación y siembra de plantas nativas con la comunidad de Camarón

Londoño-Lemos, V.; Torres-Gonzáles, A.M.; Madriñán, S. 2024.Linking Seed Traits and Germination Responses in Caribbean Seasonally Dry Tropical Forest Species. Plants 2024, 13, 1318. https://doi.org/ 10.3390/plants13101318

López C. R., Sarmiento C., Espitia L., Barrero A.M., Consuegra C., Gallego C., B. 2016. 100 plantas del Caribe colombiano. Usar para conservar: aprendiendo de los habitantes del bosque seco. Fondo Patrimonio Natural, Bogotá D.C. Colombia. 240 pp

López-Camacho, R. y Rojas, J. (eds.) 2019. El bosque seco en el territorio. CAR y Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Lopez-Gallego, C. & Morales M, P. 2020. Guettarda rusbyi. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T153327990A153327993. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020 2.RLTS.T153327990A153327993.es. Accessed on 22 May 2024.

Luck, G.; s. lavorel, S.; Mcintyre, S.; Lumb, K. 2012. Improving the application of vertebrate trait-based frameworks to the study of ecosystem services. Journal of Animal Ecology 81:1065-1076.

Maass, J., Balvanera, P., Castillo, A, Daily, G., Mooney, H., Ehrlich, P., Quesada, M., Miranda, A., Jaramillo, V., García-Oliva, F., Martínez-Yrizar, A., Cotler, H., López-Blanco, J., Pérez-Jiménez, A., Búrquez, A., Tinoco, C., Ceballos, G., Barraza, L., Avala, R., y Sarukhán, J. 2005. Ecosystem services of tropical dry forests: insights from long-term ecological and social research on the Pacific Coast of Mexico. Ecology and Society 10:1–17.

Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., Hornik, K. 2022. cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. R package versión 2.1.4.

Mahecha, G. & Echeverri, R. 1983. Árboles delValle del Cauca. Realización Progreso, Corpo-ración Financiera. Bogotá. Pg. 208.

Magnitskiy, S.V., Plaza, G.A. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. Agronomía Colombiana 25(1): 96-103.

Martínez-Garcia, J. 1985. Achatocarpaceae. Fl. Veracruz, Fasc. 450 1-6, Xalapa, México

Matilla, J. 2008. Desarrollo y germinación de las semillas. In: Fundamentos de fisiología vegetal, vol. 21, pp.537–558. Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Galicia, Spain.

Merritt, D. J., & Dixon, K. W. 2011. Restoration seed banks–a matter of scale. Science, 332(6028), 424–425.

Milberg, P., Andersson, L. y Thompson, K. 2000. Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones. Seed Sci. Res. 10: 99-104.

Miles, L., A. C. Newton, R. S. DeFries, C. Ravilious, I. May, S. Blyth, V. Kapos, y J. E. Gordon. 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. Journal of Biogeography 33:491–505.

Moles, A. T., Ackerly, D. D., Webb, C. O., Tweddle, J. C., Dickie, J. B., Pitman, A. J., & Westoby, M. 2005. Factors that shape seed mass evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(30), 10540–10544.

Molofsky, J. y Augspurger, C. 1992. The effect of leaf litter on early seedling establishment in a tropical forest. Ecology 73: 68–77.

Montoya D, Rogers L, Memmott J. 2012. Emerging perspectives in the restoration of biodiversity-based ecosystem services. Trends Ecol Evol 27:666–672. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.004

Mooney, H.A., S.H., Bullock, y E. Medina. 1995. Introduction. Páginas 1–8 en S.H. Bullock, H.A. Mooney, y E. Medina, editores. Seasonally Dry Tropical Forests. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido

Murphy, P., y Lugo, A. 1986. Ecology of tropical dry forest. Annual Review, Ecology and Systematics 17:67– 88.

Mcintyre, S., Lavorel, S., Landsber, J., Forbes, T.D.A. 1999. Disturbance response in vegetation – towards global perspective on functional traits. Journal of vegetation Science 10: 603-762.

Msanga, H. P.; Maghembe, J. A. 1986. Effect of hot water and chemical treatments on the germination of Albizia schimperana seed. Forest Management and Ecology. 17: 137-146.

Msanga, H. P.; Maghembe, J. A. 1989. Physical scarification and hydrogen peroxide treatments to improve germination of Vangueria infausta seed. Forest Management and Ecology. 28: 301-308.

Msanga, H.P. 1998. Seed germination of indigenous trees in Tanzania. Edmonton, Canada: Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre. 292 p.

Narayan, D., y Pandey, N. (2014). Tropical Dry Forest Restoration: Science and Practice of Direct Seeding in a Nutshell. Rajasthan State Pollution Control Board.

Nepstad, D.C., C. Uhl, C.A, Pereira y J.M.C. Silva. 1996. A comparative study of tree establishment in abandoned pasture and mature forest of Eastern Amazonia. Oikos 76: 25–39.

Orozco, A., Martínez, G., y Martorell, C. (2006). Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta oaxaqueña con características relevantes para la restauración. Boletín de la Sociedad Botánica de México, (79),9-20.[fecha de Consulta 2 de Mayo de 2022]. ISSN: 0366-2128.

Ostertag R, Warman L, Cordell S, Vitousek PM. 2015. Using plant functional traits to restore Hawaiian rainforest. J Appl Ecol 52:805–809. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12413

Patiño, F.; de la Garza, P.; Villagomez, Y.; Talavera, I. y Camacho, F. 1983. Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales. México D.F. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Subsecretaría Forestal. Boletín Divulgativo N° 63. 181 pp.

Pedrini, S., Dixon K.W. and Cross, A.T. (Eds) 2020. Standards for Native Seeds in Ecological Restoration. Special Issue 28:S3 pp: S213–S303. The Special Issue is supported by the Australian Research Council Industrial Transformation Training Centre for Mine Site Restoration (ICI150100041).

Pennington, R. T., D. E. Prado, y C. A. Pendry. 2000. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. Journal of Biogeography 27:261–273.

Pennington, R. T., M. Lavin, y A. Oliveira-Filho. 2009. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. Annual. Review of Ecology, Evolution, and Systematics 40:437–457.

Pérez-Harguindeguy, N., S. Díaz, E. Garnier, S. Lavorel, H. Poorter, P. Jaureguiberry, M. S. Bret-Harte, W. K. Cornwell, J. M. Craine, D. E. Gurvich, C. Urcelay, E. J. Veneklaas, P. B. Reich, L. Poorter, I. J. Wright, P. Ray, L. Enrico, J. G. Pausas, A. C. de Vos, N. Buchmann, G. Funes, F. Quétier, J. G. Hodgson, K. Thompson, H. D. Morgan, H. ter Steege, L. Sack, B. Blonder, P. Poschlod, M. V. Vaieretti, G. Conti, A. C. Staver, S. Aquino and J. H. C. Cornelissen. 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany 61(3):167-234. Doi: 10.1071/BT1225_CO.

Perring MP, Standish RJ, Price JN, Craig MD, Erickson TE, Ruthrof KX, Whiteley AS, Valentine LE, Hobbs RJ. 2015. Advances in restoration ecology: rising to the challenges of the coming decades. Ecosphere 6(8):131. https://doi.org/10.1890/ES15-00121.1

Pizano C. y García H. (eds.). (2014). El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación en Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.

Portillo-Quintero, C., y Sánchez-Azofeifa, G. 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. Biological Conservation 143:144–155.

Poulsen, K. 1996. Case study: neem (Azadirachta indica A. Juss.) seed research. In: Ouedraogos, A.S.; Poulsen, K.; Stubsgaard, F., eds. Proceedings of an international workshop on improved methods for handling and storage of intermediate/recalcitrant tropical forest tree seeds; 1995 June 8-10; Humlebaek, Denmark. Humlebaek, Denmark: Danish International Development Agency Forest Seed Centre: 14-22.

Pritchard, H.W., Wood, C.B., Hodges, S., Vautier, H.J., 2004. 100-seed test fordesiccation tolerance and germination: a case study on eight tropical palm species.Seed Sci. Technol. 32, 393–403

Queiroz, S. E. E., da Silva, E. A. A., Davide, A. C., José, A. C., Silva, A. T., Fraiz, A. C. R., Rocha, J., Hilhorst, H. W. M. (2012). *Mechanism and control of Genipa americana seed germination. Physiologia Plantarum, 144(3), 263–276.*

R Studio, T. 2020. RStudio: Integrated Development for Ritle. http://www.rstudio.com/

Ramírez Morales, S. (2009). Potencial de almacenamiento de semillas de Genipa americana L. En el departamento del Quindío. https://bdigital.uniquindio.edu.co/handle/001/5953

Rask L., Andréasson E., Ekbom B., Eriksson S., Pontoppidan B. and Meijer J. 2000. Myrosinase: gene family evolution and herbivore defense in Brassicaceae. Plant Molecular Biology

42:93-113.

Rees, M. 1995. Community structure in sand dune annuals: is seed size weight a key quantity?. Journal Ecology 83: 857-863.

Roberts, E. H. 1973. Predicting the storage life of seeds. Seed Science and Technology. 1: 499-514.

Rojas-Rodríguez, F., y Torres-Córdoba, G. (2019). Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción del Güísaro (Psidium guineense Sw.). Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 16(39), 64–66.

Rolston M.P. 1987. Water impermeable seed dormancy. The Botanical Review 44:356-436.

Román F, R De Liones, A Sautu, J Deago, JS Hall. 2012. Guía para la producción de 120 especies de árboles nativos dePanamá y el Neotrópico. New Haven, USA. EnvironmentalLeadership and Training Initiative (ELTI). 162 p

Romero-Saritama, J.M. 2015. Rasgos morfológicos de frutos, semillas y embriones de Cinchona officinalis L. (Rubiaceae) en el sur del Ecuador. Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas 36: 27–35.

Romero-Saritama, J.M., Pérez Ruiz, C. 2016. Seed morphological traits and their implication in the *ex situ* conservation of woody species in Tumbesian dry forests. *Ecosistemas* 25(2): 59-65. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.07

Roscher, C., Schumacher, J., Gubsch, M., Lipowsky, A., Weigelt, A. 2012. Using plant functional traits to explain diversity–productivity relationships. PLoS ONE 7: 1-11.

Rosenfeld MF, Müller SC. 2020. Ecologia functional como ferramenta para planejar e monitorar ecossistemas de restauração. Oecologia Aust 24(3):550–555. https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2403.02

Saatkamp, A., Poschlod, P. y Venable, D. 2014. The Functional Role of Soil Seed Banks in Natural Communities. En R.S. Gallagher (Ed.). Seeds: the ecology of regeneration in plant communities. (3rd Edition, pp. 263-295). CABI, Wallingford. 10.1079/9781780641836.0235

Salazar, S. y Botello, E. 2088. Viabilidad de semillas de Glycine max (L.) utilizando la prueba de tetrazolio. RIAA, 9: 89-96. DOI: http://dx.doi.org/10.22490/21456453.2270

Salmerón, A., González, A., & Geada, G. 2016. Tipos funcionales de plantas según su respuesta a las perturbaciones en un bosque semideciduo micrófilo costero de Cuba Oriental. Bosque (Valdivia), 37(1), 135-145. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000100013

Sampaio AB, Holl KD, Scariot A. 2007. Does Restoration Enhance Regeneration of Seasonal Deciduous Forests in Pastures in Central Brazil? Restor. Ecol. 15(3):462–471. doi:10.1111/j.1526- 100X.2007.00242.x.

Sánchez-Azofeifa, G., Quesada, M., Rodríguez, J., Nassar, J., Stoner, K., Castillo, A. et al. 2005. Research Priorities for Neotropical Dry Forests. Biotropica 37: 477-485.

Sánchez Buitrago, J. A., y Silva Herrera, L. J. (2008). Estudio Silvicultural de la Especie Sapindus Saponaria L. (Jaboncillo) Como Base para su Aprovechamiento Silvoindustrial.

Colombia forestal, 11(1), 71–82. https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2008.1.a05

Sánchez, J.A.; Furrazola, E. (2018). Ecotecnologías para la restauración ecológica: los tratamientos de semillas y las micorrizas. La Habana: Editorial AMA.

Sánchez, J.A.; Pernús, M.; Torres-Arias, Y.; Furrazola, E.; Oviedo, R.; Álvarez, J.C. (2018) Características regenerativas de árboles tropicales para la restauración ecológica de ecosistemas limítrofes al manglar. Acta Botánica Cubana. 217: 170-188.

Sarache. S. 2019. Variación de los rasgos reproductivos en dos comunidades de plantas ubicadas en parcelas con distintos niveles de cobertura vegetal, en el bosque seco tropical colombiano. [Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero forestal, Universidad distrital Francisco Jose de Caldas] repository.udistrital.edu.co

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nature Methods, 9(7), 671–675. doi:10.1038/nmeth.2089

Sebastien Le, Julie Josse, Francois Husson. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. Journal of Statistical Software, 25(1), 1-18. 10.18637/jss.v025.i01

Smith, M. T.; B. S. P. Wang y H. P. Msanga. 2010. Manual de Semillas de Arboles Tropicales. Bozzo J. A. (Ed.) Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América, Servicio Forestal

Society for Ecological Restoration Science y Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. http://www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.

Soihet, C.; Mendez, J. M. 2000. Manejo de semillas de 100 Especies Forestales de América Latina / Rodolfo Salazar, coord. Tecn. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Proyecto de Semillas Forestales; Danida Forest Seed Centre, 204 p

Strassburg BBN et al. 2020. Global priority areas for ecosystem restoration.Nature 586: 724–729.

Tissaoui, T.; Côme, D. 1975. Mise en évidence de trois phases physiologuiques différentes au cours de la germination de l’embryon de pommier non dormant, grâce à la mesure de l’activité respiratoire. Physiologie Végetale. 13: 95-98.

Thorpe AS, Stanley AG. 2011. Determining appropriate goals for restoration of imperilled communities and species. J Appl Ecol 48:275–279

Tropical Plants Database (TPD), Ken Fern. tropical.theferns.info. 2024-05-22. <tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Zanthoxylum+schreberi>

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 25May 2024<http://www.tropicos.org/Name/27903368>

Tweddle, J.C., Dickie, J.B., Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2003, Ecological aspects of seed desiccation sensitivity. Journal of Ecology, 91: 294-304.

Varela, S. y Arana, V. Latencia y germinación de semillas: Tratamientos pregerminativos. 3 ed. Bariloche: INTA EEA Bariloche. 2011. 10 p. ISSN: 1853-4775. Disponibleen https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_latencia.pdf.

Varela, R.O., Albornoz, P.L. 2013. Morpho-anatomy, imbibition, viability and germination of the seed of Anadenanthera colubrina var. cebil (Fabaceae). Revista de Biología Tropical 61: 1109-1118.

Vargas, O. y L. Pérez. 2014. Semillas de plantas de páramo: ecología y métodos de germinación aplicados a la restauración ecológica. Grupo de Restauración Ecológica. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Vargas O., Torres J., rojas o., avila l., perez l., castiblanco f., rodriguez n., camargo n. 2014.Selección, manejo y propagacion de especies para la consolidación de estrategias de restauración ecológica de los páramos andinos. Universidad Nacional de Colombia.

Vargas, W. 2015. Una breve descripción de la vegetación, con especial énfasis en las pioneras intermedias de los bosques secos de La Jagua, en la cuenca alta del río Magdalena en el Huila. Colombia Forestal, 18(1),47-70

Vega Gálvez, A., Lara Aravena, E., y Lemus Mondaca, R. 2006. Isotermas de adsorcion en harina de maiz. *Ciencia Tecnología Alimentos*, *26*(4), 821-827.

Venable, D.L., Brown, J.S. 1988. The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risk in variable environments. The American Naturalist 131: 360-384.

Vertucci, W. C. and Farrant, M. J. 1995. Acquisition and loss of desiccation tolerance.In: Kigel, J. and Galili, G. (Eds). Seed development and germination. Marcel Dekker. New York.237-271.

Villota, L. A., F. Torres, E. Rodríguez, J. A. Sánchez y A. Avella. 2019. Domesticación deplantas nativas empleadas en procesos de restauración ecológica: un nuevo enfoque para lapropagación y el viverismo. Fundación Natura y Enel-Emgesa. Bogotá, D. C. Colombia. pp264

Vozzo, J. A. (Ed.). 2010. Manual de Semillas de Árboles Tropicales. Missouri: USDA Forest Service.

WFO 2024: Apeiba tibourbou Aubl. Published on the Internet;http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000539840.

WFO. Mayo 15 de 2024. Quadrella odoratissima (Jacq.) Hutch. Published on the Internet;http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000398779.

Wheelwright, N.T. 1985. Fruit size, gape width, and the diets of fruit-eating birds. Ecology 66: 808–818.

Wickham H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, https://ggplot2.tidyverse.org.

Wolf, H.; Kamondo, B. 1993. Seed pre-sowing treatment. In: Albrecht, J., ed. Tree seed handbook of Kenya. Nairobi, Kenya: Kenya Forestry Research Institute/Gesellschaft für Technische Zusammenarbeir: 55-62.

Vieira DL, Scariot A. 2006. Principles of Natural Regeneration of Tropical Dry Forests for Restoration. Restor. Ecol. 14(1):11–20. doi: 10.1111/j.1526-100X.2006.00100.x.

Villota, L. A., F. Torres, E. Rodríguez, J. A. Sánchez y A. Avella. 2019. Domesticación de plantas nativasempleadas en procesos de restauración ecológica: un nuevo enfoque para la propagación y el viverismo. Fundación Natura y Enel-Emgesa. Bogotá, D. C. Colombia. pp 264.

Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., Garnier, E., 2007.Let the concept of trait be functional! Oikos 116, 882–892. https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.

Vozzo J. A. (Ed.) 2010. Manual de semillas de árboles tropicales. Missouri: USDA-Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.