



Vigilada Mineducación

ENSAYOS DE GERMINACIÓN Y MODELO DE DISTRIBUCIÓN PARA *Godoya antioquiensis* EN ANTIOQUIA Y REGIONES ALEDAÑAS

GERMINATION ASSAYS AND DISTRIBUTION MODEL FOR *Godoya antioquiensis* IN ANTIOQUIA AND SURROUNDING REGIONS

JUAN JOSÉ BOTERO LÓPEZ

Tesis de grado

Asesora, docente

Camila Restrepo Aguillón

Coasesora

Leydi Valentina Restrepo Cossío

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE CIENCIAS
BIOLOGÍA
MEDELLÍN
2023

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	8
OBJETIVOS	9
GENERAL.....	9
ESPECÍFICOS.....	9
MARCO TEÓRICO O MARCO CONCEPTUAL.....	10
TAXONOMÍA DE LA ESPECIE	10
MODELO DE DISTRIBUCIÓN.....	11
PROCESO DE GERMINACIÓN.....	11
DISEÑO METODOLÓGICO	13
MATERIAL VEGETAL.....	13
MANEJO DE MUESTRAS	13
Figura 1. Herramientas utilizadas	13
PRUEBA DE VIABILIDAD.....	14
Figura 2. Prueba de viabilidad	14
PRUEBA DE IMBIBICIÓN.....	15
Figura 3. Prueba de imbibición	15
PRUEBA DE GERMINACIÓN.....	16
Figura 4. Prueba de germinación.....	16
MODELO DE DISTRIBUCIÓN.....	17
Figura 5. Modelo de distribución.....	17
RESULTADOS	18

VIABILIDAD DE SEMILLAS	18
Figura 6. Resultado de viabilidad.....	18
Figura 7. Morfología y Prueba de Viabilidad en semillas de <i>Godoya antioquiensis</i>	19
IMBIBICIÓN DE SEMILLAS	20
Figura 8. Prueba de Imbibición en semillas de <i>Godoya antioquiensis</i>	20
GERMINACIÓN DE SEMILLAS	21
Figura 9. Resultado de germinación	22
Figura 10. Número de eventos germinativos por sustrato y periodo de evaluación	22
MODELO DE DISTRIBUCIÓN	23
Figura 11. Modelo de distribución	23
DISCUSIONES	24
VIABILIDAD DE SEMILLAS	24
IMBIBICIÓN DE SEMILLAS	25
GERMINACIÓN DE SEMILLAS	25
MODELO DE DISTRIBUCIÓN	27
Figura 11. Modelo de distribución en relación a actividad antrópica	28
CONCLUSIONES	29
AGRADECIMIENTOS.....	30
REFERENCIAS	31

RESUMEN

Godoya antioquiensis es una especie arbórea nativa de Colombia distribuida a lo largo de la Cordillera Central y la Cordillera Occidental, entre los 1600 msnm y 2600 msnm. En la actualidad, debido a los factores antrópicos y la sobrepoblación que han alterado las condiciones ambientales, sus poblaciones se encuentran amenazadas. El objetivo del presente estudio es generar datos y herramientas acerca de su propagación y distribución potencial que permitan promover la conservación de la especie. Para determinar la viabilidad en semillas se realizó una prueba de coloración por tetrazolio, según la cual existe una variación en la viabilidad entre semillas almacenadas y frescas del 10%, al igual que una mayor imbibición por parte de estas últimas. Según los resultados observados en germinación, el mejor sustrato en términos de cantidad de plántulas obtenidas en una fase inicial (30 días) es la arena, sin embargo, las plántulas obtenidas en el *Sphagnum* presentaron un desarrollo más vigoroso. Adicionalmente, se espera que el modelo de distribución obtenido permita identificar zonas de ocurrencia potencial donde hasta ahora no se ha registrado la especie. Así mismo, de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de imbibición, las semillas de *Godoya antioquiensis* resisten períodos prolongados de desecación. Sin embargo, no es muy adecuado su almacenamiento debido a que podrían perder el vigor germinativo. Dado a la amplia distribución de la especie, en el departamento de Antioquia existe una buena disponibilidad de ecosistemas andinos óptimos para su reintroducción.

Palabras clave: Semilla, imbibición, viabilidad, sustrato, variables ambientales.

ABSTRACT

Godoya antioquiensis is a tree species native to Colombia, distributed throughout the central and western mountain range, between 1600 m above sea level (masl) and 2600 masl. Currently, due to anthropogenic factors and overpopulation that have altered environmental conditions, its populations are under threat. The objective of the present study is to generate data and tools regarding its propagation and potential distribution to promote the conservation of the species. To determine seed viability, a tetrazolium staining test was conducted, revealing a 10% variation in viability between stored and fresh seeds, as well as greater imbibition for the latter. According to the germination results, the best substrate in terms of the quantity of seedlings obtained in the initial phase (30 days) is sand. However, despite *Sphagnum* presenting a lower result, its seedlings showed better development. Additionally, it is expected that the distribution model obtained will identify potential occurrence zones where the species has not been previously recorded. Moreover, based on the results of the imbibition test, *Godoya antioquiensis* seeds can withstand prolonged periods of desiccation. However, storing them is not advisable as they may lose germinative vigor. Due to the wide distribution of the species, in the Antioquia department, there is good availability of optimal Andean ecosystems for its reintroduction.

Keywords: Seed, imbibition, viability, substrate, environmental variables.

INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, la presión ejercida por la actividad humana sobre los ecosistemas ha generado un aumento significativo en la pérdida de hábitats (Sigmund et al., 2023). Ante esta realidad, se vuelve imperativo implementar medidas destinadas a restaurar y proteger la diversidad biológica, asegurando su continuidad en diversos entornos (Brooks et al., 2006). Para alcanzar este objetivo, se emplean distintos métodos de conservación, como la conservación *in situ*, llevada a cabo dentro del propio ecosistema, y la conservación *ex situ*, realizada en ambientes controlados externos al hábitat natural (Zegeye, 2016). Mientras que la conservación *ex situ* implica la colecta y almacenamiento, la *in situ* prohíbe la extracción del organismo del entorno natural (Guerrant et al., 2004).

La vulnerabilidad de los ecosistemas frente a factores antrópicos ha amenazado la supervivencia de organismos como *Godoya antioquiensis*, una especie de gran valor económico y ecológico. A pesar de los esfuerzos de monitoreo, caracterización y propagación realizados previamente (Quintero, 2004; Peláez & Toro, 2006; Galeano et al., 2016; Fondo Adaptación et al., 2019), la información detallada sobre las condiciones que favorecen su supervivencia sigue siendo limitada. En este contexto, la conservación *ex situ* desempeña un papel crucial para asegurar la perpetuidad de la especie en entornos controlados (Guerrant et al., 2004).

Este estudio se propone abordar la falta de conocimiento existente al evaluar la viabilidad e imbibición de las semillas de *Godoya antioquiensis*, aspectos fundamentales para analizar el material vegetal destinado a la propagación bajo diferentes sustratos y en entornos controlados. Además, se busca desarrollar un modelo de distribución espacial de la especie, proporcionando información esencial para la planificación de proyectos de restauración y conservación. Los resultados obtenidos no solo respaldarán la perpetuidad de la especie, sino que también servirán como base para estrategias de saneamiento en sus poblaciones, contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas que albergan a *Godoya antioquiensis*.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, las poblaciones de *Godoya antioquiensis* se encuentran amenazadas por factores antrópicos, como la urbanización y la actividad agrícola sin fronteras, que desfavorecen las condiciones para su desarrollo (Roa *et al.*, 2004). Se encuentra categorizada por la IUCN (Lista Roja de las especies Amenazadas) como en preocupación menor (LC), así como lo describen Lopez y Morales (2020), en su último informe. No obstante, según estudios de Fondo Adaptación y sus colaboradores (2019) indican que, *Godoya antioquiensis* se encuentra en peligro crítico para su conservación (CR), por lo que se incluyó en la última veda regional elaborada por Cornare (2020), prohibiendo su uso y aprovechamiento dentro de su jurisdicción. A pesar de esto, la especie continúa siendo ampliamente utilizada para diferentes fines, tales como material de combustión, aún en un estadio de desarrollo inmaduro (Quintero, 2004; Peláez & Toro, 2006; Atehortúa *et al.*, 2011) y para la elaboración de cabos de herramienta (Peláez & Toro, 2006; Atehortúa *et al.*, 2011). Por dichas razones, sumadas a la pérdida de hábitat, las poblaciones de *Godoya antioquiensis* se han visto amenazadas y, de este modo, se considera una especie objetivo para generar conocimiento y realizar planes de conservación; además, esta también es aprovechada con fines ornamentales debido a la vistosidad floral que posee. (Corantioquia, 2011).

JUSTIFICACIÓN

La investigación sobre la germinación de las semillas de *Godoya antioquiensis* en diversos sustratos se justifica debido a la necesidad crítica de comprender los procesos fundamentales que afectan la viabilidad y el establecimiento de esta especie única (Vargas, 1991; Morbeck *et al.*, 2015; Larrazabal, 2021). La germinación, siendo una fase crucial en el ciclo de vida de las plantas, tiene implicaciones directas en la distribución y persistencia de las poblaciones (Pita & Pérez, 1998; Vargas, 2011; Tuan *et al.*, 2019). La carencia de información específica sobre la germinación de *Godoya antioquiensis* representa una brecha en el conocimiento, limitando las capacidades para diseñar estrategias efectivas de conservación y restauración.

Al abordar la eficiencia germinativa mediante la evaluación de diferentes sustratos, el estudio aspira a proporcionar una base sólida para informar prácticas de propagación y manejo, contribuyendo así a la preservación de esta especie y, potencialmente, estableciendo un modelo para la conservación de otras especies en riesgo.

Desde una perspectiva científica, los resultados de la investigación no solo serán valiosos para el diseño de estrategias específicas de restauración y conservación adaptadas a las condiciones de *Godoya antioquiensis*, sino que también contribuirán al entendimiento general de la biología de las plantas y los procesos de germinación en entornos particulares. Este enfoque holístico no solo beneficiará a la especie de interés, sino que también podría tener implicaciones más amplias para otras especies con requisitos de germinación similares.

En última instancia, al proporcionar nueva información sobre la germinación de *Godoya antioquiensis*, el trabajo aspira a ser un modelo para futuros estudios en especies en peligro, impulsando avances en la ciencia de la conservación y la ecología vegetal. El conocimiento generado no solo es crucial para el desarrollo de estrategias prácticas y basadas en evidencia para la preservación de la biodiversidad, sino que también puede contribuir considerablemente a la gestión efectiva de ecosistemas donde esta especie única se encuentra.

OBJETIVOS

GENERAL

Investigar y caracterizar el proceso de germinación de las semillas de *Godoya antioquiensis* en diversos sustratos, centrándose en la fase inicial hasta la emergencia radicular, con el fin de proporcionar información crucial para desarrollar prácticas de propagación y manejo efectivas. Este estudio busca contribuir a la preservación de *Godoya antioquiensis* y, potencialmente, servir como referencia para estrategias de conservación aplicables a otras especies en riesgo.

ESPECÍFICOS

- Comparar la viabilidad entre semillas frescas y almacenadas de mediante prueba de coloración por tetrazolio, con el propósito de identificar y cuantificar las diferencias en el porcentaje de viabilidad entre ambos grupos.
- Comparar la capacidad de imbibición entre semillas frescas y almacenadas con el objetivo de identificar y cuantificar las diferencias en la absorción de agua entre ambos grupos, contribuyendo así a comprender las variaciones en el potencial de germinación asociadas al almacenamiento.
- Evaluar la influencia de diferentes sustratos en el proceso de germinación de las semillas de *Godoya antioquiensis*, identificando sustratos óptimos y subóptimos para la germinación.
- Desarrollar un modelo de distribución para las poblaciones de *Godoya antioquiensis* para analizar y prever su distribución potencial, teniendo en cuenta variables ambientales como la precipitación y la temperatura. Este enfoque proporcionará información valiosa para comprender la ecología de la especie y su respuesta a condiciones climáticas específicas.

MARCO TEÓRICO O MARCO CONCEPTUAL

TAXONOMÍA DE LA ESPECIE

Ochnaceae DC. es una familia pantropical de plantas, en su mayoría leñosa, la cual comprende cerca de 500 especies y 30 géneros (Castillo & Medina, 2014). La mayor diversidad se ha registrado en el neotrópico, con un estimado de 15 géneros y entre 300 y 350 especies (Schneider *et al.*, 2014). Se encuentra principalmente en ecosistemas de bosque lluvioso, de bosque seco y de sabana, presenta adicionalmente adaptación al fuego por parte de algunos taxones (Kanis, 1968; Schneider *et al.*, 2014). La mayoría de las especies pertenecientes a esta familia presentan una estructura arbustiva o arbórea (Schneider *et al.*, 2021). La ocurrencia de especies tanto en bosques como en sabanas ha hecho de la familia Ochnaceae un modelo para la evaluación de la transición entre dichos ecosistemas; permitiendo además abordar en la actualidad las respuestas de las selvas tropicales al cambio climático (Hirota *et al.*, 2011; Schneider *et al.*, 2014).

El género *Godoya* Ruiz & Pav., se incluye dentro de esta familia y se distribuye en los trópicos de Sudamérica, principalmente en bosques andinos (Galeano *et al.*, 2016). En este género se reconocen dos especies, *Godoya antioquiensis* Planch y *Godoya obovata* Ruiz & Pav (Ladino, 2018). *Godoya antioquiensis* es una especie arbórea nativa de Colombia (Quintero, 2004), se distribuye entre la Cordillera Central y la Cordillera Occidental, desde los 1600 msnm hasta 2600 msnm (Peláez & Toro, 2006). Hace parte de ecosistemas con una zona de vida entre el bosque premontano (PM) y el montano bajo (MB) (Holdridge, 1966; Galeano *et al.*, 2016). Se distribuye además en bosque secundario con presencia de sustrato ácido y alta humedad (Roa *et al.*, 2004).

Godoya antioquiensis es un árbol de hasta 20 m de altura y 25 cm de grosor en su tronco, posee una corteza de color café, con hojas simples y coriáceas, dispuestas de manera alterna y espiralada, sus flores se encuentran dispuestas al final de los racimos, conformadas por cinco pétalos y cinco sépalos, de coloración amarilla en ambos casos, los frutos son capsulares de color café al alcanzar la maduración. Al interior se encuentran sus semillas, las cuales poseen una morfología que les permite dispersarse fácilmente por anemocoria (Alzate *et al.*, 2012).

Sus poblaciones se han registrado en el departamento de Antioquia en los municipios de El Retiro, Carmen de Viboral, Rionegro, Guarne, Guatapé, Santuario, Sonsón, San Rafael, La Unión y La Ceja, en la jurisdicción de CORNARE (Corporación autónoma regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare) y en los municipios de Caicedo, Andes, Copacabana, Caldas, Frontino, Envigado, Pueblorrico, Ituango, Medellín, Concepción, Urrao y Santa Rosa de Osos (Roa *et al.*, 2004; Corantioquia, 2011; Idárraga *et al.*, 2011).

MODELO DE DISTRIBUCIÓN

Para evaluar el grado de riesgo de una especie, los modelos de distribución resultan fundamentales, ya que estos permiten tener mayor conocimiento acerca de los sitios potenciales para su ocurrencia (Mateo *et al.*, 2011). Los modelos de distribución se construyen a partir de la combinación de observaciones de ocurrencia de las especies con estimaciones ambientales de su patrón de distribución (Elith & Leathwick, 2009). La validez del modelo implica una estrecha relación entre la distribución real conocida de la especie y una serie de variables independientes, utilizadas como marcadores de las condiciones óptimas para la distribución de los individuos (Mateo *et al.*, 2011).

En aquellos casos en los que se construyen modelos de distribución para especies que se encuentran amenazadas, es posible con ellos identificar posibles sitios potenciales para la reintroducción de individuos que hayan sido antes propagados y conservados en condiciones controladas (Elith & Leathwick, 2009). De este modo, uno de los objetivos del estudio es elaborar un modelo de distribución para las poblaciones de *Godoya antioquiensis*.

PROCESO DE GERMINACIÓN

Con miras a aportar a otros procesos de conservación de *Godoya antioquiensis* este estudio plantea también la evaluación de métodos de germinación de la especie para llevar a cabo procesos de conservación *ex situ*, ya que este resulta ser un paso fundamental en el éxito de los esfuerzos realizados (Tuan *et al.*, 2019). Esto implica diferentes factores, como los requerimientos de cada especie, las condiciones ambientales durante el desarrollo y las características del nicho en que se encuentra (Pita & Pérez, 1998). La propagación por semilla hace parte de uno de los métodos recurrentes para la restauración de ecosistemas y para la reintroducción de individuos a ambientes naturales que favorezcan procesos de sucesión vegetal (Vargas, 2011; Empresas Públicas de Medellín & Fundación Natura, 2022); esto permite a la planta adaptarse mejor y protegerse ante posibles perturbaciones del

entorno en que se desarrollará, lo que además garantiza un mejor éxito reproductivo que asegura la perpetuidad de la especie (Ruiz *et al.*, 2018).

Existen diferentes factores ambientales que pueden limitar la propagación de una semilla, tales como la humedad, la disponibilidad de luz, la concentración de oxígeno, entre otros (Vargas, 1991). Adicionalmente, variables como el sustrato resultan fundamentales para el éxito germinativo. De acuerdo con el tipo de semilla que se pretende cultivar, existen gran variedad de sustratos apropiados para dar sustento a la futura planta y permitir su desarrollo óptimo, desde los estadios más tempranos (Larrazabal, 2021). Un sustrato apropiado para la germinación de semillas debe estar libre de microorganismos patógenos, al tiempo que debe disponer de nutrientes indispensables para el debido sustento de la semilla. Así mismo, condiciones tales como un pH neutro y balance entre humedad y ventilación del sustrato resultan fundamentales para ofrecer un ambiente óptimo para el desarrollo germinativo (INTAGRI, 2017). Estos factores tienen el potencial de aumentar la velocidad y uniformidad de germinación (Morbeck *et al.*, 2015).

DISEÑO METODOLÓGICO

MATERIAL VEGETAL

La recolección de las semillas de *Godoya antioquiensis* se realizó entre junio de 2022 y agosto de 2023, en los municipios de El Retiro (6° 05' 39.6"N 75°30'43.5"W) y La Ceja (6° 00' 46.6"N 75° 26' 44.8"W), respectivamente, y a 2200 msnm de árboles adultos plantados que crecen en vegetación secundaria. Se recolectaron frutos maduros que no habían completado su dehiscencia y se dejaron en recipientes transparentes de 23 * 31 cm, tapados hasta la liberación de las semillas. Las características ambientales corresponden a una temperatura media de 14,4°C y una precipitación media de 3105 mm (Climate-data, s. f.). Las semillas colectadas en 2022 (Semillas almacenadas) se conservaron en nevera a 5°C por un periodo aproximado de 1 año y las semillas colectadas durante 2023 (Semillas frescas), se almacenaron durante 4 días en recipientes de 5 * 3,5 cm de color blanco hasta el momento de la siembra.

MANEJO DE MUESTRAS

Debido al pequeño tamaño de las semillas y su fragilidad es indispensable manipular las mismas con mucho cuidado para evitar daños en su estructura. Por este motivo, se utilizaron herramientas tales como pinzas, bisturí y nebulizador que facilitaron el buen tratamiento del material vegetal. De igual manera, es muy importante realizar el calculo adecuado de las variables que se pretende medir en cada muestra, por lo cual es fundamental recurrir al uso de una pipeta y una balanza analítica.

Figura 1. Herramientas utilizadas

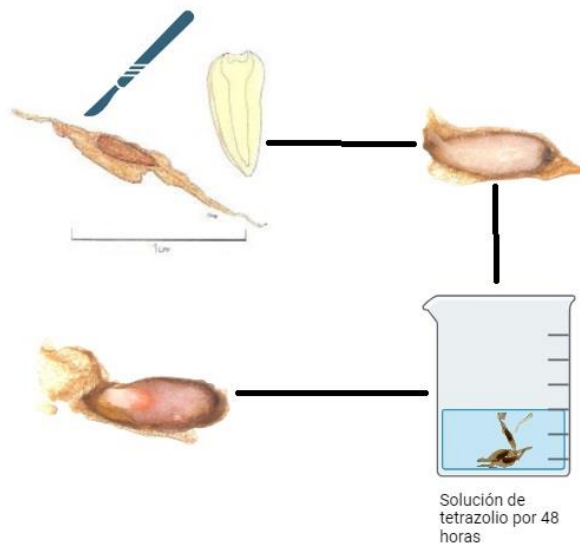


Fuente:
Figura creada con BioRender.com

PRUEBA DE VIABILIDAD

La determinación de la viabilidad de las semillas se realizó con una prueba de corte. Para ello se utilizó el reactivo Tetrazolio a una concentración de 0,075 M. Se seleccionaron 30 semillas de cada lote (Semillas almacenadas y Semillas frescas), a las que se les hicieron cortes longitudinales para verificar en cada una la presencia de embriones. Posteriormente, aquellas que contenían embrión se sumergieron en cajas Petri con el mencionado reactivo y se dejaron en una incubadora HERATHERM IGS60 a 30°C durante 48 horas (González *et al.*, 2019). Una vez pasado este tiempo, se observaron las semillas al estereoscopio OPTIKA SLX-2; aquellas que tenían coloración rojo tenue se consideraron viables, mientras que las que presentaron coloración rojo pálido se consideraron de media viabilidad. Dado el caso de ausencia de coloración, se determinó inviabilidad (Verma & Majee, 2013).

Figura 2. Prueba de viabilidad



Fuente:
Figura creada con BioRender.com

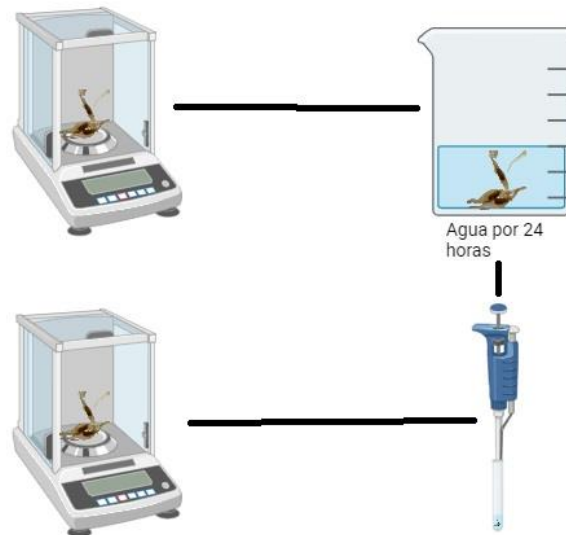
La ecuación utilizada para determinar la viabilidad fue la propuesta por MacKay (1972):

$$PV = \frac{N^{\circ} \text{ semillas coloreadas}}{N^{\circ} \text{ total de semillas}} * 100$$

PRUEBA DE IMBIBICIÓN

Para probar la permeabilidad al agua en la cubierta seminal de las semillas de *Godoya antioquiensis* se midió el incremento del peso, determinado entre la diferencia del peso inicial y el final. Para esto, se pesaron 30 semillas de cada procedencia (Semillas almacenadas y Semillas frescas) en una balanza analítica AXIS ACN220G. Posterior a ello, se sumergieron en agua destilada durante 24 horas a temperatura ambiente. Es necesario precisar que antes de tomar la masa húmeda se eliminó el agua superficial de las semillas en una bomba de vacío.

Figura 3. Prueba de imbibición



Fuente:
Figura creada con BioRender.com

El porcentaje del incremento en la masa (PIM) se calculó mediante la fórmula propuesta por Baskin y Baskin (2004):

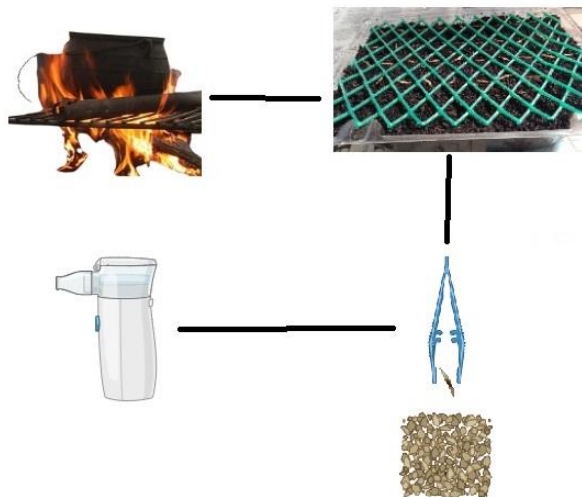
$$PIM = \frac{Masa\ final - Masa\ inicial}{Masa\ final} * 100$$

Un incremento considerable del PIM indica permeabilidad de las cubiertas seminales al agua (Baskin & Baskin, 2004).

PRUEBA DE GERMINACIÓN

La germinación de semillas de *Godoya antioquiensis* se evaluó en bandejas de 15*10 cm de plástico transparente. Para esto se utilizaron cinco tratamientos: arena, *Sphagnum*, tierra negra, tierra negra + arena y turba rubia de *Sphagnum* de nivel medio de descomposición (turba); los sustratos fueron esterilizados por método de caldera a una temperatura de 70°C por dos horas (Placco *et al.*, 2010). Cada sustrato se dispuso en bandejas de germinación diferentes. En cada una de estas se colocaron 50 semillas, considerando de esta forma un tamaño poblacional de 50 por sistema, con un total de 500 especímenes puestos a prueba. Se determinó germinación cuando hubo emergencia radicular (Ortiz *et al.*, 2017). Los periodos de evaluación de la germinación fueron de 30 días y 60 días.

Figura 4. Prueba de germinación



Fuente:
Figura creada con BioRender.com

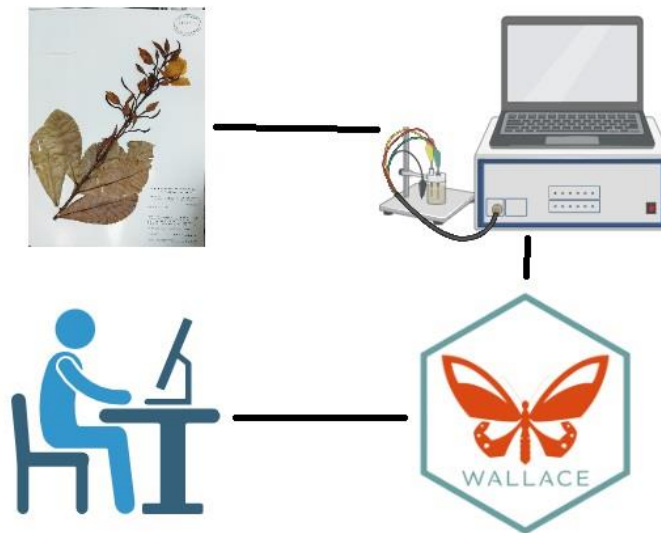
Para calcular el porcentaje de germinación (PG), por cada experimento se empleó la siguiente ecuación, así como lo plantean Caroca y colaboradores (2016):

$$PG = \frac{N^{\circ} \text{ semillas germinadas}}{N^{\circ} \text{ semillas sembradas}} * 100$$

MODELO DE DISTRIBUCIÓN

Para determinar el modelo de distribución de *Godoya antioquiensis* se tomaron registros de presencia de la especie en colecciones del herbario Joaquín Antonio Uribe de Medellín-JAUM (Jardín Botánico de Medellín, 2023), del Sistema de Información Biológica (SIB, 2023) y del Sistema Global de Información sobre la Biodiversidad (GBIF, 2023). Se seleccionaron además variables ambientales como: temperatura media anual (BIO1), temperatura máxima (BIO5), temperatura mínima (BIO6), precipitación anual (BIO12), precipitación del mes más húmedo (BIO13) y precipitación del mes más seco (BIO14). En este caso, los puntos de ocurrencia de *Godoya antioquiensis* que se encuentran muy aislados unos de otros, podrían tratarse de eventos de plantación de la especie, de ahí que los factores ambientales registrados en dichos sitios podrían no coincidir con las variables determinantes para su distribución (Figura 5). Para evitar errores en el modelo, previo al almacenamiento y procesamiento de los sitios de ocurrencia, se analizaron aquellos que discrepaban en cuanto a información ambiental y fueron eliminados. Estos datos fueron cargados en el aplicativo Wallace, una plataforma para el modelamiento de nicho y dispersión de especies basada en R (Johnson *et al.*, 2022), y siguiendo los pasos que allí mismo se describen.

Figura 5. Modelo de distribución



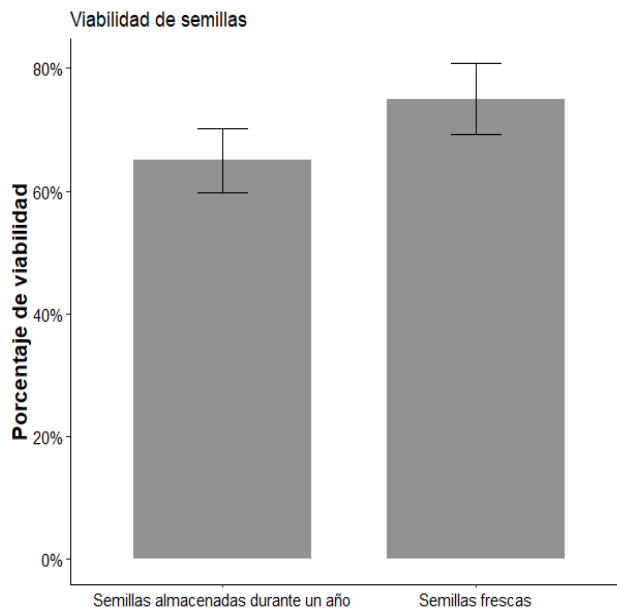
Fuente:
Figura creada con BioRender.com

RESULTADOS

VIABILIDAD DE SEMILLAS

Para el estudio de la viabilidad de las semillas de *Godoya antioquiensis* se obtuvieron resultados de 65% en las semillas almacenadas y 75% en las semillas frescas. Por tanto, según los datos obtenidos, existe una disminución en el porcentaje de viabilidad de semillas almacenadas por un año del 10% (75%-65%) respecto a las frescas (Figura 6).

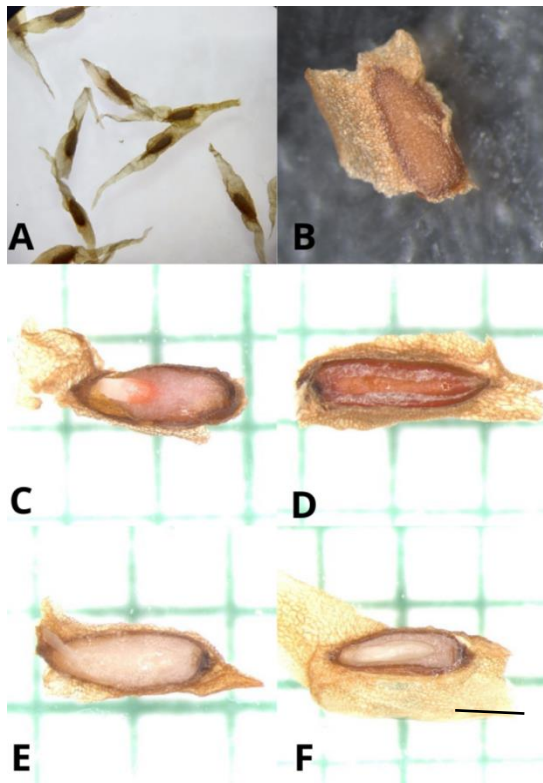
Figura 6. Resultado de viabilidad



Fuente:

Figura creada desde RStudio. Porcentaje de viabilidad de 20 semillas almacenadas y 20 semillas frescas.

Figura 7. Morfología y Prueba de Viabilidad en semillas de *Godoya antioquiensis*



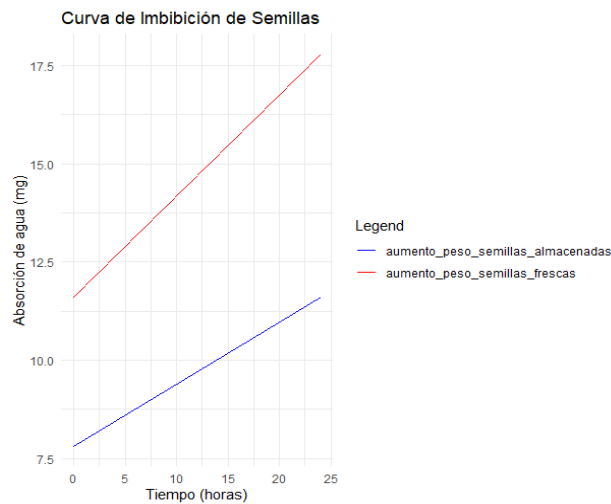
Fuente:

Fotografías propias. La barra de escala corresponde a 1 mm. A. Semillas completas. B. Detalle de la exotesta. C. Prueba de viabilidad en semilla almacenada. D. Prueba de viabilidad en semilla fresca. E. Prueba control en semilla almacenada. F. Prueba control en semilla fresca

IMBIBICIÓN DE SEMILLAS

En la imbibición de semillas de *Godoya antioquiensis*, se obtuvo una diferencia de 3,8 mg y 6,2 mg entre la masa final y la inicial de semillas almacenadas y frescas, respectivamente, en las que estas últimas presentaban una mayor absorción de agua. Adicionalmente, al comparar las masas iniciales y finales, se encontró una semejanza en los valores obtenidos tanto en la masa final de las semillas almacenadas como en la masa inicial de las semillas frescas (Figura 8).

Figura 8. Prueba de Imbibición en semillas de *Godoya antioquiensis*



Fuente:

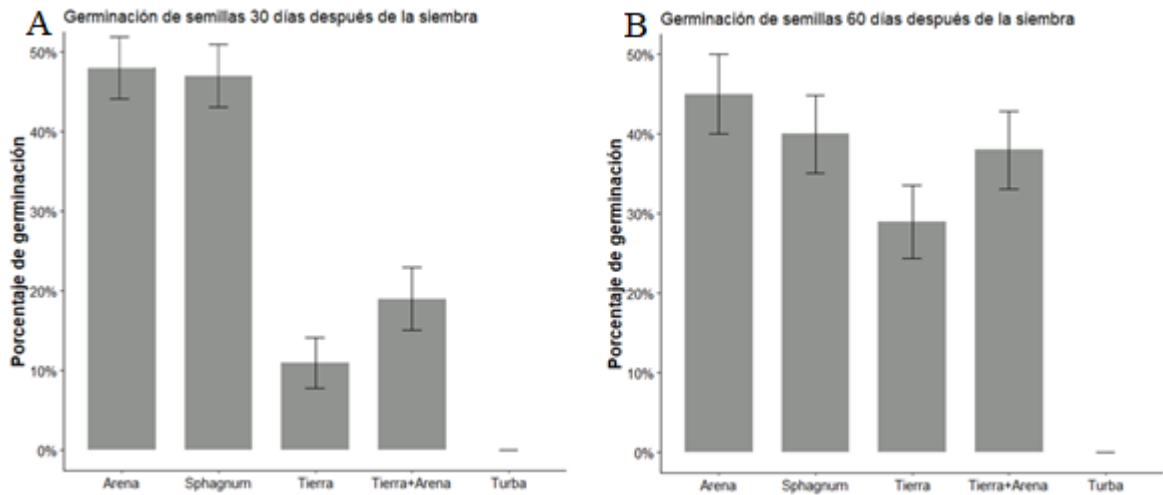
Figura creada desde RStudio. Imbibición de 30 semillas almacenadas y 30 semillas frescas.

GERMINACIÓN DE SEMILLAS

En una fase inicial, se revisaron las bandejas de germinación a los 30 días posteriores a la siembra. Según los eventos observados, se obtuvo una mayor germinación de aquellas semillas puestas sobre un sustrato compuesto de arena, observando los siguientes resultados: 18 semillas almacenadas y germinadas y 30 semillas frescas y germinadas en 30 días después de siembra, dando un total de 48 plántulas en el medio. Sin embargo, luego de comparar los resultados obtenidos en el *Sphagnum*, en el cual se obtuvo un total de 47 plántulas a partir de 23 semillas almacenadas y germinadas y 24 semillas frescas y germinadas en 30 días después de la siembra, se puede diferenciar un mayor desarrollo en las plántulas. A diferencia, en los eventos restantes de germinación con semillas de *Godoya antioquiensis* en otros sustratos (tierra negra, tierra negra + arena) los resultados fueron considerablemente menores: en tierra negra se obtuvieron 2 semillas almacenadas y germinadas y 9 semillas frescas y germinadas en 30 días después de la siembra, con un total de 11 plántulas en el sistema, mientras que en tierra negra + arena se obtuvieron 2 semillas almacenadas y germinadas y 17 semillas frescas y germinadas en 30 días después de la siembra, dando un total de 19 plántulas (Figura 9A).

Luego de revisar las bandejas de germinación a los 60 días posteriores a la siembra, se pudo observar una mejoría en los resultados en tierra negra y en tierra negra + arena, se obtuvieron los siguientes resultados: en tierra negra resultaron 4 semillas almacenadas y germinadas y 25 semillas frescas y germinadas en 60 días después de la siembra, dando un total de 29 plántulas, mientras que en tierra negra + arena se obtuvieron 8 semillas almacenadas y germinadas y 30 semillas frescas y germinadas en 60 días después de la siembra, resultando 38 plántulas en el medio. Por el contrario, en los sustratos de *Sphagnum* y arena se presentaron eventos tanto de muerte de plántulas como de germinación de algunas semillas y varió considerablemente el número de germinadas. En *Sphagnum* se obtuvieron 30 semillas almacenadas y germinadas y 10 semillas frescas y germinadas en 60 días después de la siembra, arrojando un total de 40 plántulas, mientras que en arena se obtuvieron 25 semillas almacenadas y germinadas y 20 semillas frescas y germinadas en 60 días después de la siembra, obteniendo 45 plántulas (Figura 9B). En general, en el sistema diseñado a partir de un sustrato de turba no se obtuvo ningún evento de germinación en ambas evaluaciones (Figura 9 y Figura 10).

Figura 9. Resultado de germinación



Fuente:

Figura creada desde RStudio. Resultado de germinación a partir de 50 semillas sembradas por cada sustrato

Figura 10. Número de eventos germinativos por sustrato y periodo de evaluación

Sustrato	Semillas	Fecha	# de germinaciones	Fecha	# de germinaciones
Sphagnum	Almacenadas	9/4/2023	23	10/4/2023	30
	Frescas		24		10
Turba	Almacenadas	9/4/2023	0	10/4/2023	0
	Frescas		0		0
Arena	Almacenadas	9/4/2023	18	10/4/2023	25
	Frescas		30		20
Tierra	Almacenadas	9/4/2023	2	10/4/2023	4
	Frescas		9		25
Tierra + Arena	Almacenadas	9/4/2023	2	10/4/2023	8
	Frescas		17		30

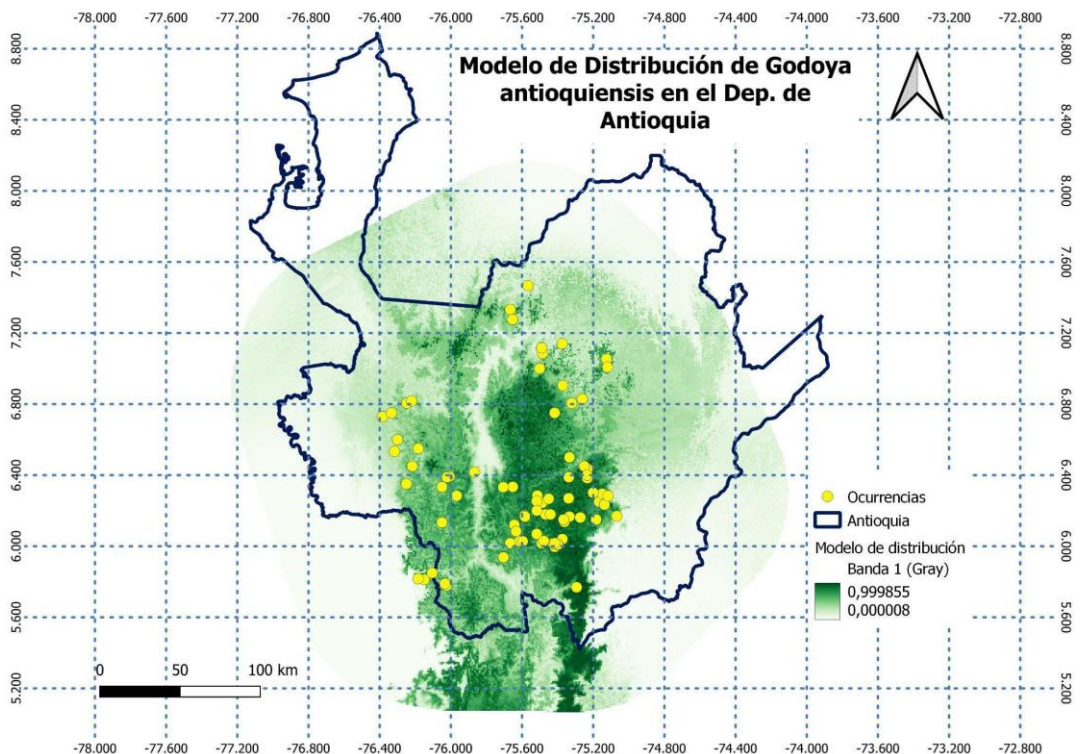
Fuente:

Figura creada desde Excel. Número de eventos germinativos obtenidos en cada periodo de evaluación a partir de 50 semillas sembradas por sustrato

MODELO DE DISTRIBUCIÓN

En este caso, se obtuvo un modelo que se acomoda al patrón de distribución descrito para las poblaciones de *Godoya antioquiensis* (Cordillera Central y Occidental). A pesar de que ha sido considerada una especie autóctona del departamento de Antioquia (Quintero, 2004), según los resultados obtenidos, tiene posibilidad de distribución en los departamentos de Choco, Risaralda y Caldas, los cuales se encuentran aledaños al sur de Antioquia y presentan condiciones muy similares en determinadas franjas a las de los sitios habituales de ocurrencia de la especie (Ellison, 2014) (Figura 10).

Figura 11. Modelo de distribución



Fuente:

Figura creada desde Wallace. Los puntos amarillos representan los registros de ocurrencia de la especie, tomados de: (GBIF, 2023; Jardín Botánico de Medellín, 2023; SIB, 2023). Se emplearon un total de 116 registros. Según la escala de colores, a mayor intensidad de verde, mayor posibilidad de ocurrencia de la especie.

DISCUSIONES

VIABILIDAD DE SEMILLAS

La viabilidad de una semilla se encuentra directamente relacionada con su capacidad de germinar y producir una planta (Bradbeer, 1988). De este modo, muestra el grado en el cual una semilla está viva, posee enzimas capaces de catalizar las diferentes reacciones metabólicas y, por tanto, es capaz de germinar y desarrollarse (Copeland & McDonald, 2001). Las semillas de *Godoya antioquiensis* muestran una buena viabilidad aun después de haber pasado por periodos de almacenamiento (Figura 6, Figura 7C y Figura 7D). Sin embargo, así como lo proponen Shelar y sus colaboradores (2008), es evidente un desarrollo menor de la radícula, del hipocótilo y de las hojas en las plántulas obtenidas a partir de aquellas semillas que presentaban menor vigor y que han sido previamente almacenadas, por lo que podrían ser menos viables. En contraste, en estudios realizados con otras especies de la familia Ochnaceae, Gosper y sus colaboradores (2006) estudiaron la ecología de *Ochna serrulata* (Hochst.) Walp. como planta invasora en el sureste de Queensland, Australia. Los autores observaron que seis meses posteriores a la dehiscencia de los frutos y a la recolección de las semillas, la viabilidad fue de 0,75%, donde solo tres semillas resultaron viables de las 400 analizadas. Para esta evaluación, ellos realizaron inspecciones visuales de cortes de semillas y a pesar de que estas evidenciaban una aparente viabilidad, no germinaron.

En general, el debido establecimiento de una planta depende de un proceso germinativo adecuado. Por lo tanto, entender factores fisiológicos involucrados en la germinación y en el establecimiento de la plántula, tales como la dormancia, resultan relevantes en el diseño de estrategias que permitan un apropiado desarrollo de la germinación, lo mismo que plantas saludables en ambientes prósperos (Berrie & Drennan, 1970). Sin embargo, factores externos como el almacenamiento tienen el potencial de afectar el desarrollo óptimo de la planta desde sus estadios más tempranos (Shelar *et al.*, 2008). El tiempo de almacenamiento de las semillas utilizadas fue de un año, por lo que se podría esperar una viabilidad muy baja o, en el peor de los casos, nula. En contraste, a partir de un estudio desarrollado por Dooley y sus colaboradores (2013) se pudo observar que a mayor tiempo de almacenamiento, ocurría una disminución progresiva en la viabilidad de las semillas, para lo cual compararon los resultados obtenidos en periodos de 1, 2 y 3 años (77% -71% - 37%, respectivamente). A pesar de que las semillas de *Godoya antioquiensis* habían pasado por un periodo de almacenamiento de 1 año, la disminución en su viabilidad fue igualmente baja (Figura 7D).

IMBIBICIÓN DE SEMILLAS

Durante las primeras etapas de hidratación de las semillas, un proceso conocido como imbibición, marca el periodo en el que estas varían entre un estado anhidro a otro hidratado, este último hace posible el crecimiento y la respuesta ante los estímulos ambientales (Vertucci, 1989). Al comparar la imbibición de semillas frescas y almacenadas de *Godoya antioquiensis*, se pudo observar una disminución en el peso inicial, lo que da a entender una deshidratación considerable del embrión durante periodos de almacenamiento (Figura 8). Adicionalmente, alcanzado el periodo de hidratación, las semillas en general se hacen sensibles al frío y a periodos de rápida imbibición y son capaces de reiniciarse durante episodios de metabolismo defectuoso (Vertucci & Leopold, 1983, así como se citó en McDonald *et al.*, 1988). Aunque la variación no haya sido considerable, la diferencia en el tiempo y resultado de germinación en semillas almacenadas y frescas de *Godoya antioquiensis*, presentando resultado mayor y más temprano en aquellas que no habían pasado por un periodo de almacenamiento, podría sugerir perturbaciones en la respuestas fisiológicas de la semilla luego de ser almacenada (Figura 8).

En contraste, así como lo plantea Walters (2015), durante la embriogénesis las células de la semilla sufren cambios en su estructura y composición, los cuales ocurren junto con respuestas celulares a la desecación. Adicionalmente, Farrant y sus colaboradores (1986), a partir de un estudio realizado con semillas de *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh., comprobaron que a mayor tiempo de almacenamiento se presentan cambios estructurales en las etapas más tempranas del desarrollo de las semillas.

GERMINACIÓN DE SEMILLAS

Existen diferentes factores que potencialmente pueden afectar la viabilidad de la semilla, tales como infecciones fúngicas (Martín *et al.*, 2022), disponibilidad lumínica (C. Zhang *et al.*, 2014), disponibilidad de nutrientes (Follmer *et al.*, 2021), entre otros, los cuales afectan el desarrollo de la planta a lo largo de sus diferentes estadios (Abdulkariem, 2019). No obstante, a pesar de que se realizó la desinfección previa de los sustratos, después de la segunda semana de la siembra se observó la presencia de algunos hongos en los dos sustratos que contenían tierra negra y esto pudo afectar la germinación de algunas semillas, las cuales no recibieron ningún tipo de tratamiento protectante para su siembra. Esto puede sugerir que sea conveniente para ensayos futuros, controlar mejor el proceso de desinfección del sustrato y dar algún tratamiento a las semillas para protegerlas del ataque de patógenos durante la etapa de germinación y crecimiento en los semilleros.

Adicionalmente, en el proceso de la germinación de semillas, proporcionar las condiciones adecuadas de aireación, retención de agua, capacidad de almacenamiento de nutrientes y su debida descomposición, resulta fundamental para asegurar el buen desempeño de las futuras plántulas desde sus estadios más tempranos (Calonje *et al.*, 2010). La menor presencia de eventos germinativos tanto en tierra como en tierra + arena pueden atribuirse a una posible retención excesiva de humedad que es favorecida por el alto contenido de materia orgánica y arcillas presentes en la tierra negra (Figura 9A). De acuerdo con el tamaño y el tipo de semilla, las características del sustrato cumplen una función muy importante al tiempo que previenen la retención excesiva de agua, la cual podría afectar de manera definitiva el desarrollo de la semilla (Ampim *et al.*, 2010). En este caso, probablemente, debido a la alta retención de humedad (Pire, 2003; Gutiérrez *et al.*, 2011; Mixquititla *et al.*, 2022), así como otras características propias de la turba usada, tales como: estructura de partículas finas, nivel medio de descomposición, presencia de macro y micronutrientes entre otros, este sustrato resultó poco apropiado para la germinación de *Godoya antioquiensis* (Figura 9). Se hace necesario mayores estudios para identificar cual o cuales de las propiedades: físicas, químicas u orgánicas de la turba usada fueron determinantes en el resultado obtenido.

El *Sphagnum* posee diferentes propiedades biológicas que le permiten enriquecer nutritivamente el ambiente en que se encuentran, así como lo mencionó (Rochefort, 2000). El buen desarrollo de las plántulas de *Godoya antioquiensis* obtenidas en sustrato de *Sphagnum* indica unas mejores condiciones de éste para la obtención de una buena germinación y un óptimo crecimiento de las diferentes estructuras de las plántulas. Adicionalmente, a partir del estudio realizado por Baranyai y sus colaboradores (2021) con semillas de *Drosera rotundifolia* L., se pudo evidenciar igualmente cómo este sustrato vivo provee condiciones ideales para la germinación de las plantas, tanto en ambientes naturales como en controlados y brinda así una amplia posibilidad para su propagación. Los eventos de muerte de algunas plántulas pasados 60 días después de la siembra, pueden deberse a la fuerte competencia entre el crecimiento rápido y vigoroso del *Sphagnum* y el lento crecimiento de las plántulas de *Godoya antioquiensis*, que, si no se tiene cuidado, terminan siendo absorbidas o ahogadas por el sustrato (Figura 9B).

Un corto periodo de deshidratación en sustratos altamente porosos puede alterar considerablemente la germinación (Drzal *et al.*, 1999, como se citó en Harp *et al.*, 2015). los pocos episodios de muerte de plántulas observados en la arena, pueden estar relacionados con periodos cortos de deshidratación que desfavorecieron el desarrollo de las mismas, esto sugiere que con este tipo de sustratos hay que ser más estrictos con el control periódico de la humedad, en especial, después de que las bandejas son destapadas y se pierde el control sobre la humedad del entorno inmediato de las plántulas (Figura 9). De otra parte, en un estudio llevado a cabo por Gómez y sus colaboradores (2016), en el cual se evaluó la eficiencia de *Godoya antioquiensis* con diferentes sustratos, se obtuvieron los mejores resultados en la

arena y en el sustrato preparado con base en arena, tierra negra y tierra amarilla (en proporciones 1:2:1).

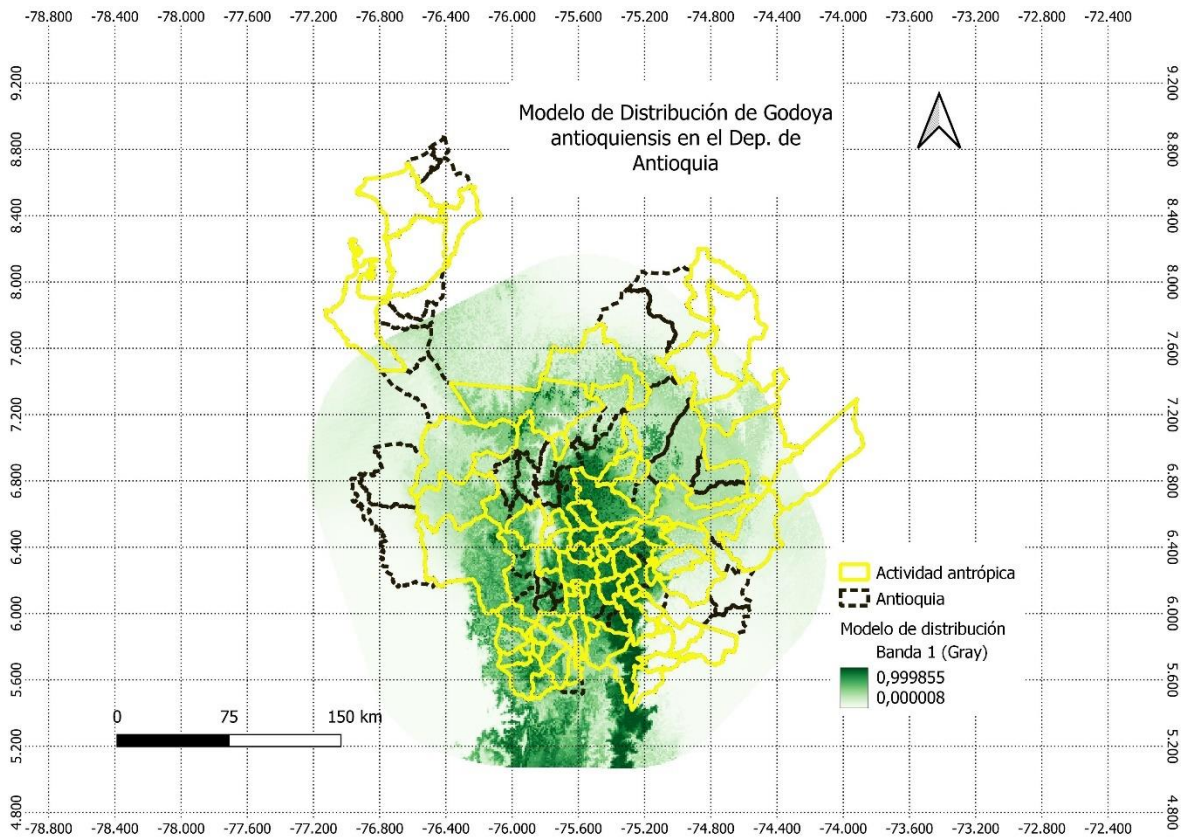
MODELO DE DISTRIBUCIÓN

La distribución de una especie, tanto espacial como temporal, hace parte de su historia ecológica y es fundamental para comprender cómo se desempeña y qué función cumple en el ecosistema (Beale & Lennon, 2012). En aquellos casos en los que se conocen sitios muy restringidos para la distribución de una especie, es posible modelar áreas potenciales de ocurrencia a partir de variables predictoras, características de aquellos lugares donde antes ha sido observada la especie (Miller, 2010). *Godoya antioquiensis* es una especie ampliamente distribuida dentro de un rango altitudinal que le permite presentarse en diversos ecosistemas. Sin embargo, debido al creciente aumento de la deforestación de los bosques de Antioquia (Calderón & Benavides, 2021), la sensibilidad ante perturbaciones al interior de los ecosistemas ha aumentado, generando cambios en su estructura y alterando considerablemente las poblaciones de las especies que allí encuentran sustento (Barlow *et al.*, 2016, así como se citó en Calderón & Benavides, 2021).

Los modelos de distribución cuantifican entonces la relación que existe entre el organismo objeto de estudio y los factores ambientales determinantes para su dispersión (Miller, 2010). De esta forma, la simulación obtenida permite describir y cuantificar la importancia de los factores indispensables en el hábitat de la especie evaluada, tales como la humedad y la temperatura media, entre otros; de igual facilita mapear su distribución en áreas desconocidas y analizar los efectos del cambio climático y la actividad antrópica sobre la ecología del organismo (Franklin, 1995; Guisan & Zimmermann, 2000; Guisan & Thuiller, 2005; Miller & Rogan, 2007; Elith & Leathwick, 2009; Sánchez & Ferrer, 2010, así como se citó en Miller, 2010) (Figura 11).

Para el buen análisis de la naturaleza de los datos se pretende realizar pruebas estadísticas que evalúen su comportamiento en una fase posterior del proyecto

Figura 11. Modelo de distribución en relación a actividad antrópica



Fuente:

Figura creada desde Wallace. Las franjas amarillas representan los límites a partir de los cuales se encuentra el potencial en cuanto a actividad antrópica del departamento. Para la ocurrencia de la especie, según la escala de colores, a mayor intensidad de verde, mayor posibilidad del evento. Sin embargo, al relacionar esto con la actividad antrópica, se debe considerar la posibilidad de dispersión de la especie debido a dicha condición.

CONCLUSIONES

A pesar de que con el tiempo la viabilidad de las semillas de *Godoya antioquiensis* no disminuyó considerablemente, no resulta apropiado almacenar semillas tropicales por períodos prolongados (mayor a 5 años) usando el método tradicional (de 0°C a 5°C), debido a posibles cambios o daños en la genética de las mismas (Bonner, 1990). Las semillas de esta planta son potencialmente ortodoxas debido a su tamaño reducido y a su bajo contenido de humedad (Zhang *et al.*, 2021), pero la absorción de agua y el aumento de la masa las podrían clasificar como semillas intermedias (Walters, 2015).

Por su parte, los sustratos se encuentran conformados por diferentes elementos orgánicos que proveen al medio la estructura ideal para cada tipo de semilla, según sus requerimientos (Atzori *et al.*, 2021). En el presente estudio, con la arena se obtuvieron los mejores resultados en la germinación de semillas de *Godoya antioquiensis*, aunque en el *Sphagnum* se observó un mejor desarrollo de las plántulas, con cotiledones completamente expuestos a un mes después de la siembra.

Respecto al modelo de distribución planteado para *Godoya antioquiensis* se evidencia que la dispersión de la especie en Antioquia está fuertemente ligada a la ocupación de la Cordillera Central y Occidental. De igual forma, su ocurrencia se hace posible de acuerdo a las variables ambientales que denotan su complejidad para ocupar una franja delimitada. Adicionalmente, se podrían evaluar otros posibles sitios de ocurrencia aledaños que, aunque no se encuentran dentro del límite político de Antioquia, presentan los factores ambientales ideales para la ocurrencia de la especie.

AGRADECIMIENTOS

En este momento culminante de mi educación, me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron, de manera significativa, a la realización de este trabajo de grado. Sus apoyos, orientaciones y palabras de aliento fueron fundamentales para llevarlo a cabo con éxito.

En primer lugar, deseo agradecer a mi asesora, Camila Martínez, y a mi coasesora externa, Valentina Restrepo, por su paciencia, dedicación y orientación constante a lo largo de este proceso. Sus valiosos consejos y retroalimentación crítica contribuyeron a darle forma y a mejorar este trabajo.

Agradezco también a mi familia, que siempre estuvo ahí para apoyarme y motivarme a lo largo de este desafío académico. Su amor inquebrantable y comprensión fueron un pilar fundamental en mi vida.

A mis amigos y compañeros de estudio, quienes compartieron conmigo sus conocimientos, experiencias y, sobre todo, su amistad. Gracias por los consejos y debates que me permitieron ir puliendo este trabajo.

A todas las fuentes de contribución del material de estudio y soporte metodológico, así como lo hizo Cornare desde un principio, les expreso mi sincero agradecimiento por su generoso apoyo, que contribuyó al desarrollo de esta investigación.

Finalmente, quiero agradecer a todos los participantes que colaboraron en este estudio. Sus aportes fueron también fundamentales para el éxito de este proyecto. Este logro no hubiera sido posible sin la colaboración y el apoyo de todos ustedes. Agradezco sinceramente su contribución y confianza en mí.

REFERENCIAS

- Abdulkariem, S. (2019). *Seed viability*.
<https://www.researchgate.net/publication/333092001>
- Alzate, F., Díaz, O., Idárraga, Á., & Rodríguez, W. (2012). *Flora de los bosques montanos de Medellín* (1.^a ed.).
- Ampim, P. A. Y., Sloan, J. J., Cabrera, R. I., Harp, D. A., & Jaber, F. H. (2010). Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition and Properties. *Journal of Environmental Horticulture*, 28(4), 244-252.
<https://doi.org/10.24266/0738-2898-28.4.244>
- Atehortúa, L., Montiel, O. M., & Callejas, R. (2011). *Catálogo de las plantas vasculares*.
<https://www.tropicos.org/projectimages/Antioquia/Flora%20Antioquia%20Vol%20II.pdf>
- Atzori, G., Pane, C., Zaccardelli, M., Cacini, S., & Massa, D. (2021). The Role of Peat-Free Organic Substrates in the Sustainable Management of Soilless Cultivations. *Agronomy*, 11(6), 1236.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11061236>
- Baranyai, B., Krebs, M., Oehmke, C., & Joosten, H. (2021). Seed germination and seedling survival of *Drosera rotundifolia* (L.) cultivated on *Sphagnum*: Influence of cultivation methods and conditions, seed density, *Sphagnum* species and vascular plant cover. *Mires and Peat*, 27(15), 1-14.
<https://doi.org/10.19189/MaP.2020.APG.StA.1937>

- Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Nally, R. M., Thomson, J. R., Ferraz, S. F. D. B., Louzada, J., Oliveira, V. H. F., Parry, L., Ribeiro De Castro Solar, R., Vieira, I. C. G., Aragão, L. E. O. C., Begotti, R. A., Braga, R. F., Cardoso, T. M., De Oliveira, R. C., Souza Jr, C. M., ... Gardner, T. A. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature*, *535*(7610), 144-147. <https://doi.org/10.1038/nature18326>
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, *14*(1), 1-16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>
- Beale, C. M., & Lennon, J. J. (2012). Incorporating uncertainty in predictive species distribution modelling. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *367*(1586), 247-258. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0178>
- Berrie, A. M. M., & Drennan, D. S. H. (1970). *The effect of hydration-dehydration on seed germination*.
- Bonner, F. T. (1990). Storage of seeds: Potential and limitations for germplasm conservation. *Forest Ecology and Management*, *35*(1-2), 35-43. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(90\)90230-9](https://doi.org/10.1016/0378-1127(90)90230-9)
- Bradbeer, J. W. (1988). *Seed Viability and Vigour*. In: *Seed Dormancy and Germination*. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7747-4_8
- Brooks, T. M., Mittermeier, R. A., Da Fonseca, G. A. B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J. F., Mittermeier, C. G., Pilgrim, J. D., & Rodrigues, A. S. L.

- (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science*, 313(5783), 58-61. <https://doi.org/10.1126/science.1127609>
- Calderón, J., & Benavides, A. M. (2021). Deforestación y fragmentación en las áreas más biodiversas de la Cordillera Occidental de Antioquia (Colombia). *Biota Colombiana*, 23(1), e942. <https://doi.org/10.21068/2539200X.942>
- Calonje, C., Husby, C., & Calonje, M. (2010). Germination and Early Seedling Growth of Rare *Zamia* spp. in Organic and Inorganic Substrates: Advancing *Ex Situ* Conservation Horticulture. *HortScience*, 45(4), 679-683. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.4.679>
- Caroca, R., Zapata, N., & Vargas, M. (2016). EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA GERMINACIÓN DE CUATRO GENOTIPOS DE MANÍ (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(2), 94-101. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902016000200002>
- Castillo, G., & Medina, M. E. (2014). *Flora de Veracruz*. <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumeness/FLOVER/163-Castillo.pdf>
- Climate-data. (s. f.). *Clima La Ceja: Temperatura, Climograma y Tabla climática para La Ceja*. Recuperado 20 de agosto de 2023, de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/antioquia/la-ceja-50291/>
- Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). Seed Viability and Viability Testing. En L. O. Copeland & M. B. McDonald, *Principles of Seed Science and Technology* (pp. 124-139). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1619-4_6

- Corantioquia. (2011). *Manejo de las semillas y la propagación de doce especies arbóreas nativas de importancia económica y ecológica.*
- Cornare, C. (2020). Con las Vedas protegemos las especies de flora vulnerables del territorio Cornare. *CORNARE*. <https://www.cornare.gov.co/noticias-corporativas/con-las-vedas-protegemos-las-especies-de-flora-vulnerables-del-territorio-cornare/>
- Dooley, F. D., Echeverria, S. W., & Van Volkenburgh, E. (2013). *Long-term seed storage and viability of Zostera marina.*
- Drzal, M. S., Keith Cassel, D., & Fonteno, W. C. (1999). PORE FRACTION ANALYSIS: A NEW TOOL FOR SUBSTRATE TESTING. *Acta Horticulturae*, 481, 43-54. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.481.1>
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40(1), 677-697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Ellison, A. M. (2014). Political borders should not hamper wildlife. *Nature*, 508(7494), 9-9. <https://doi.org/10.1038/508009a>
- Empresas Públicas de Medellín, & Fundación Natura. (2022). *Propagación de especies nativas para la restauración ecológica de ecosistemas de alta montaña.* <https://www.car.gov.co/uploads/files/63da8478808f2.pdf>
- Farrant, J. M., Pammenter, N. W., & Berjak, P. (1986). The increasing desiccation sensitivity of recalcitrant *Avicennia marina* seeds with storage time.

Physiologia Plantarum, 67(2), 291-298. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb02459.x>

Follmer, C. M., Hummes, A. P., Lângaro, N. C., Petry, C., Moterle, D. F., & Bortoluzzi, E. C. (2021). Nutrient availability and pH level affect germination traits and seedling development of *Conyza canadensis*. *Scientific Reports*, 11(1), 15607. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95164-7>

Fondo Adaptación, Minambiente, Cornare, Corantioquia, & Consorcio Pomcas. (2019). *Caracterización de vegetación y flora*.

Franklin, J. (1995). Predictive vegetation mapping: Geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 19(4), 474-499. <https://doi.org/10.1177/030913339501900403>

Galeano, E., Muñoz, L. M., Giraldo, F., & Montoya, J. I. (2016). Population Structure and Environmental Effects of a Secondary Forest in the Central Andean Mountains of Eastern Antioquia, Colombia: Emphasis on the Endangered Species *Godoya antioquiensis*. *Journal of Biodiversity Management & Forestry*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2327-4417.1000160>

GBIF. (2023). *Godoya antioquiensis*. <https://www.gbif.org/es/species/3695351>

Gómez, M. C., Rodríguez, S. L., Quijano, M. A., & Tobón, M. P. (2016). *Programa integral de conservación y recuperación para las especies Podocarpus oleifolius, Godoya antioquiensis y Cariniana pyriformis en áreas del bosque montano bajo y bosque húmedo tropical del Oriente Antioqueño*. https://www.researchgate.net/publication/317796719_Programa_integral_de

_conservacion_y_recuperacion_para_las_especies_Podocarpus_oleifolius_
_Godoya_antioquiensis_y_Cariniana_pyriiformis_en_areas_del_bosque_mon
tano_bajo_y_bosque_humedo_tropical_del_Orien

- González, M. J., Zanatta, T., Meneghello, G. E., Noguez, A. B., Aquino, Y., & Peña, P. (2019). Chia seed viability analysis protocol by tetrazolium test. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1481-1489. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1095>
- Gosper, C. R., Vivian-Smith, G., & Hoad, K. (2006). Reproductive ecology of invasive *Ochna serrulata* (Ochnaceae) in south-eastern Queensland. *Australian Journal of Botany*, 54(1), 43. <https://doi.org/10.1071/BT05033>
- Guerrant, E. O., Havens, K., & Maunder, M. (Eds.). (2004). *Ex situ plant conservation: Supporting species survival in the wild*. Island Press.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993-1009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Gutiérrez, M. del C., Hernández, J., Ortiz, C. A., Anicua, R., & Hernández, M. E. (2011). Porosity-water retention relationship in substrate mixtures and its effect on response variables in lettuce seedlings. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XVII(3), 183-196. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.17.029>

- Harp, D. A., Chen, C., & Jones, C. (2015). Physical Characteristics of and Seed Germination in Commercial Green Roof Substrates. *HortTechnology*, 25(2), 221-227. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.25.2.221>
- Hirota, M., Holmgren, M., Van Nes, E. H., & Scheffer, M. (2011). Global Resilience of Tropical Forest and Savanna to Critical Transitions. *Science*, 334(6053), 232-235. <https://doi.org/10.1126/science.1210657>
- Holdridge, L. R. (1966). *Life zone Ecology*. TROPICAL SCIENCE CENTER.
- Idárraga, álvaro, Ortiz, R., Callejas, R., & Merello, M. (2011). *Análisis florístico de la vegetación del Departamento de Antioquia*.
- INTAGRI. (2017). *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. Serie Suelos*.
- Jardín Botánico de Medellín. (2023). *Herbario JAUM*. <https://www.botanicomedellin.org/>
- Johnson, B. A., Pinilla, G. E., Paz, A., Kass, J. M., Meenan, S. I., & Anderson, R. P. (2022). *Wallace Ecological Modeling Application v2.0 Vignette*. <https://wallaceecomod.github.io/wallace/articles/tutorial-v2.html>
- Kanis, A. (1968). *A revision of the Ochnaceae of the Indo-Pacific area*. <https://repository.naturalis.nl/pub/525173>
- Ladino, S. P. R. (2018). *Revisión taxonómica y relaciones filogenéticas del género Rhytidanthera (Ochnaceae)*.
- Larrazabal, M. (2021, enero 22). *Tipos de Sustratos para el Cultivo de Plantas*. Sembralia. <https://sembralia.com/blogs/blog/tipos-de-sustrato>

- Lopez, C., & Morales, M. P. (2020). *Godoya antioquiensis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: E.T169310059A182979973. *IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T169310059A182979973.es>.
- MacKay, D. B. (1972). The Measurement of Viability. En *Viability of Seeds* (pp. 172-208). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5685-8_7
- Martín, I., Gálvez, L., Guasch, L., & Palmero, D. (2022). Fungal Pathogens and Seed Storage in the Dry State. *Plants*, 11(22), 3167. <https://doi.org/10.3390/plants11223167>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- McDonald, M. B., Vertucci, C. W., & Roos, E. E. (1988). Soybean Seed Imbibition: Water Absorption by Seed Parts. *Crop Science*, 28(6), 993-997. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800060026x>
- Miller, J. (2010). Species Distribution Modeling: Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4(6), 490-509. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00351.x>
- Miller, J., & Rogan, J. (2007). *Using GIS and remote sensing for ecological modeling and monitoring*. https://www.researchgate.net/publication/292732090_Using_GIS_and_remote_sensing_for_ecological_modeling_and_monitoring

- Mixquititla, G., Villegas, Ó. G., Andrade, M., & Sotelo, H. (2022). Propiedades físicas y químicas de sustratos en función de su granulometría y componente orgánico-mineral. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8(1).
<https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081007>
- Morbeck, A. K., Souza, S. A., Santos, J., & Braga, J. M. (2015). Temperature and substrate influences on seed germination and seedling formation in *Callisthene fasciculata* Mart. (Vochysiaceae) in the laboratory. *Revista Árvore*, 39(3), 487-495. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000300009>
- Ortiz, L. Y., Suárez, J. C., & Chaves, G. (2017). Respuesta en el desarrollo radicular de *Arabidopsis thaliana* al extracto foliar de *Moringa oleifera*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 193-199.
<https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6131>
- Peláez, J. A., & Toro, J. L. (2006). *Avances en el estudio de la germinación y almacenamiento de las semillas y el manejo de plantas en vivero de ocho especies forestales en la jurisdicción de Corantioquia*.
- Pire, R., & Pereira, A. (2003). *Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del Estado de Venezuela. Propuesta metodológica*. 15.
- Pita, J. M., & Pérez, F. (1998). *Germinación de semillas*.
- Placco, C., Saravia, L., Gea, M., & Altamirano, M. (2010). *Desinfección de sustrato con vapor utilizando un concentrador Fresnel Lineal#*. 14.
- Quintero, O. D. (2004). *Propagación in vitro de cinco especies de importancia ecológica y económica*.

- Roa, H. Y., Montoya, C. E., & Rodríguez, G. (2004). *Estrategia de conservación y propagación para las poblaciones de tres especies endémica y en peligro de extinción en la jurisdicción de Corantioquia*.
- Rocheport, L. (2000). *Sphagnum*—A Keystone Genus in Habitat Restoration. *The Bryologist*, 103(3), 503-508. [https://doi.org/10.1639/0007-2745\(2000\)103\[0503:SAKGIH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1639/0007-2745(2000)103[0503:SAKGIH]2.0.CO;2)
- Ruiz, V. C., Legaría, J. P., Sahagún, J., & De La O Olan, M. (2018). Variabilidad genética en algunas especies cultivadas y silvestres de amaranto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 405-416. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1081>
- Sánchez, A. Y., & Ferrer, J. R. (2010). Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction by Janet Franklin (2009), xviii + 320 pp., Cambridge University Press, Cambridge, UK. ISBN 9780521876353 (hbk), GBP 70.00; 9780521700023 (pbk), GBP 35.00. *Oryx*, 44(4), 615-615. <https://doi.org/10.1017/S0030605310001201>
- Schneider, J. V., Bissiengou, P., Amaral, M. D. C. E., Tahir, A., Fay, M. F., Thines, M., Sosef, M. S. M., Zizka, G., & Chatrou, L. W. (2014). Phylogenetics, ancestral state reconstruction, and a new infrafamilial classification of the pantropical Ochnaceae (Medusagynaceae, Ochnaceae s.str., Quiinaceae) based on five DNA regions. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 78, 199-214. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.05.018>
- Schneider, J. V., Jungcurt, T., Cardoso, D., Amorim, A. M., Töpel, M., Andermann, T., Poncy, O., Berberich, T., & Zizka, G. (2021). Phylogenomics of the tropical

- plant family Ochnaceae using targeted enrichment of nuclear genes and 250+ taxa. *TAXON*, 70(1), 48-71. <https://doi.org/10.1002/tax.12421>
- Shelar, V. R., Shaikh, R. S., & Nikam, A. S. (2008). *SOYBEAN SEED QUALITY DURING STORAGE: A REVIEW*. 29(2).
- SIB. (2023). *Godoya antioquiensis*. <https://biodiversidad.co/data/?taxonKey=3695351>
- Sigmund, G., Ågerstrand, M., Antonelli, A., Backhaus, T., Brodin, T., Diamond, M. L., Erdelen, W. R., Evers, D. C., Hofmann, T., Hueffer, T., Lai, A., Torres, J. P. M., Mueller, L., Perrigo, A. L., Rillig, M. C., Schaeffer, A., Scheringer, M., Schirmer, K., Tlili, A., ... Groh, K. J. (2023). Addressing chemical pollution in biodiversity research. *Global Change Biology*, 29(12), 3240-3255. <https://doi.org/10.1111/gcb.16689>
- Tuan, P. A., Sun, M., Nguyen, T.-N., Park, S., & Ayele, B. T. (2019). Molecular mechanisms of seed germination. En *Sprouted Grains* (pp. 1-24). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00001-4>
- Vargas, M. (1991). Factores que afectan la germinación de semillas. *Boletín Técnico, Vol 24(1)*, pp. 26-31. <https://kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/78728>
- Vargas, O. (2011). *Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación*.
- Verma, P., & Majee, M. (2013). Seed Germination and Viability Test in Tetrazolium (TZ) Assay. *BIO-PROTOCOL*, 3(17). <https://doi.org/10.21769/BioProtoc.884>
- Vertucci, C. W. (1989). The Kinetics of Seed Imbibition: Controlling Factors and Relevance to Seedling Vigor. En P. C. Stanwood & M. B. McDonald (Eds.),

CSSA *Special Publications* (pp. 93-115). Crop Science Society of America.

<https://doi.org/10.2135/cssaspecpub14.c6>

Vertucci, C. W., & Leopold, A. C. (1983). Dynamics of Imbibition by Soybean Embryos. *Plant Physiology*, 72(1), 190-193.

<https://doi.org/10.1104/pp.72.1.190>

Walters, C. (2015). Orthodoxy, recalcitrance and in-between: Describing variation in seed storage characteristics using threshold responses to water loss. *Planta*,

242(2), 397-406. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2312-6>

Zegeye, H. (2016). *In situ and ex situ conservation: Complementary approaches for maintaining biodiversity*.

Zhang, C., Willis, C. G., Burghardt, L. T., Qi, W., Liu, K., De Moura Souza-Filho, P. R., Ma, Z., & Du, G. (2014). The community-level effect of light on germination timing in relation to seed mass: A source of regeneration niche differentiation.

New Phytologist, 204(3), 496-506. <https://doi.org/10.1111/nph.12955>

Zhang, K., Zhang, Y., Sun, J., Meng, J., & Tao, J. (2021). Deterioration of orthodox seeds during ageing: Influencing factors, physiological alterations and the role of reactive oxygen species. *Plant Physiology and Biochemistry*, 158, 475-485.

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.031>