

Calidad de semillas y tratamientos pregerminativos para mejorar el tiempo y porcentaje de germinación en vivero de *Retrophyllum rospigliosii*

Seed quality and pregermination treatments to improve germination time and percentage in nursery of *Retrophyllum rospigliosii*

Sindy Johana Mambague ¹, Jharid Gustavo Hernández ¹, Adriana María Marín ², Jorge Andrés Ramírez ^{1*}

- Recibido: 09/Jun/2023
- Aceptado: 22/May/2024
- Publicación en línea: 22/Jul/2024

Citación: Mambague SJ, Hernández JG, Marín AM, Ramírez JA. 2024. Calidad de semillas y tratamientos pregerminativos para mejorar el tiempo y porcentaje de germinación en vivero de *Retrophyllum rospigliosii*. Caldasia 46(3):629-647. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v46n3.106873>

RESUMEN

Como aporte a la conservación de *Retrophyllum rospigliosii* se recolectó material vegetal de individuos provenientes de plantaciones experimentales de más de 20 años con el objetivo de evaluar la calidad de las semillas, la germinación y el contenido de biomasa de esta especie una vez germinadas las semillas. Se encontró que, según la procedencia, bajo el tratamiento escarificación mecánica más estimulante, se alcanzó un valor de germinación de 84,84 % en un tiempo medio de 51 días. La biomasa se maximizó en el tratamiento testigo (sin escarificación ni fitohormona), donde se alcanzó un valor máximo de 0,182 g de biomasa aérea y 0,049 g de biomasa radicular un mes después de la emergencia de la plántula. Los resultados indican la posibilidad de incrementar el porcentaje de germinación y acelerar notablemente el periodo de emergencia del embrión de esta especie ampliamente amenazada de los ecosistemas de alta montaña.

Palabras clave: biomasa de plántulas, pino colombiano, procedencia de semillas, escarificación, germinación.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad del Cauca, Calle 5 No. 4-70, Popayán, Colombia; sindyj@unicauca.edu.co, jharidher@unicauca.edu.co, j.ramirez@unicauca.edu.co

² Departamento de Investigación Forestal, Smurfit Kappa Colombia, Calle 15 No. 18-109, Puerto Isaacs, Cali, Colombia; adriana.marin@smurfitkappa.com.co

* Autor para correspondencia.



ABSTRACT

As a contribution to the conservation of *Retrophyllum rospigliosii*, seeds were collected from individuals in experimental 20-year plantations to evaluate seed quality, germination, and biomass content after the emergence of this species. It was found that, depending on the provenance, under the treatment of mechanical stimulation plus scarification, a germination rate of 84.84 % was achieved within an average time of 51 days. Biomass was maximized in the control treatment (without scarification or phytohormone), where 0.182 g of aerial biomass and 0.049 g of root biomass were reached one month after seedling emergence. The results indicate the possibility of increasing the germination percentage and significantly accelerating the period of emergence of the embryo of this widely threatened species in high mountain ecosystems.

Keywords: biomass of seedlings, Colombian pine, germination, scarification, seeds provenance.

INTRODUCCIÓN

En los bosques altoandinos de Colombia, la familia Podocarpaceae se encuentra representada principalmente por los géneros *Podocarpus* L'Hér ex Pers., *Prumnopitys* Phil. y *Retrophyllum* C.N. Page (Yaguana *et al.* 2012). Los individuos de estos géneros han sido seriamente amenazados por la eliminación continua de los ecosistemas de alta montaña (premontanos y montanos) debido a la expansión de la frontera agrícola (Cavelier y Tobler 1998) y a la extracción de los mismos por el valor comercial de su madera (Nieto y Rodríguez 2002). La fragmentación de los bosques y su cosecha ha llevado a que, actualmente, solo se conserven pequeños relictos de estas especies en las partes más altas de las montañas (Marín 1998). Además de lo anterior, la baja densidad por el amplio espaciamiento entre poblaciones y las condiciones climáticas características de los ecosistemas altoandinos, como son la baja luminosidad y la humedad permanente, han llevado a una baja interacción ecológica entre los individuos de estas especies, generando una disminución en las tasas de reproducción debido a la reducción de la calidad y producción de semillas (Marín 1998, Mill 2016). Actualmente las especies de estos géneros se consideran en estado vulnerable (IUCN 2022).

Desde hace más de dos décadas instituciones públicas y privadas han documentado las experiencias de propagación y establecimiento de especies nativas con el fin de aportar a la conservación y revegetación de los bosques tropicales de zonas bajas y andinas (Gómez y Toro 2007,

Gómez *et al.* 2013). Se conoce que las semillas de las podocarpaceas son recalcitrantes y que sembradas en condiciones normales no mantienen la viabilidad por mucho tiempo (Marín 1998). Se reporta que las semillas de pino romerón (*Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page) inician su germinación después del segundo mes de siembra (62 – 136 días) y completan su proceso después del cuarto mes (127 – 228 días) (Lamprecht y Liscano 1957, Gómez *et al.* 2013, Cueva y Trujillo 2016). Además, dichas semillas presentan porcentaje de germinación del 50 al 60 % (Ayma-Romay 2005, Gómez *et al.* 2013, Cueva y Trujillo 2016, Parent 2017). En términos de la reproducción de la especie se conoce que es posible propagarla usando estacas de árboles jóvenes (More *et al.* 2021), y que la especie responde favorablemente a la fertilización química a edades tempranas, lo que incrementa el crecimiento en términos de diámetro, altura, y volumen en árboles maduros (Ramírez *et al.* 2021). No obstante, no se conoce de experiencias tendientes a incrementar la tasa y velocidad de germinación del pino romerón, el cual es el más importante en términos de representatividad ecológica y uso económico entre las podocarpaceas de Colombia (Ludeña y Bueno 1989, Marín 1998). Para asegurar la permanencia de esta especie amenazada es necesario emprender planes de restauración y conservación, lo que implica conocer las técnicas apropiadas que incrementen la germinación y establecimiento. Por ello, el conocimiento de la viabilidad de las semillas y los parámetros de germinación son indispensables para el desarrollo de prácticas silviculturales exitosas (Rezende *et al.* 2015).

Se espera que la selección de sustratos adecuados, así como la utilización de tratamientos pregerminativos pueda reducir el tiempo de germinación y a la vez incrementar el porcentaje de germinación de las semillas (del Amo *et al.* 2009). Los tratamientos pregerminativos son procedimientos para romper la latencia de las semillas que, utilizados bajo las condiciones adecuadas, permiten la germinación más rápida de las semillas. Los métodos pregerminativos más comunes son: estratificación, lixiviación, escarificación mecánica, adición de hormonas y otros estimulantes químicos (Arana *et al.* 2010). Entre los tratamientos pregerminativos más comunes se encuentra la **escarificación mecánica** que consiste en remover parte de la cubierta de las semillas para eliminar las restricciones a la emergencia de la raíz y facilitar la emergencia de la radícula (García y Villamil 1999, Arana *et al.* 2010). También se emplean tratamientos pregerminativos químicos que pretenden, con el lavado de las semillas en **hormonas u otros estimulantes químicos**, ablandar la testa y remover los inhibidores químicos presentes en la cubierta (Pérez 2003). Entre los tratamientos de hormonas y estimulantes más usados están el ácido giberélico (GA3) y el ácido indolacético (Arana *et al.* 2010).

Con el fin de mejorar las técnicas de propagación y llenar un vacío en la información que permita asegurar la permanencia de *R. rospiglosii*, esta investigación tuvo como objetivo evaluar en semillas de diferentes plantaciones experimentales de *R. rospiglosii* la calidad y establecer las posibles técnicas que reduzcan el tiempo de germinación de las mismas, y a la vez incrementen el porcentaje de germinación o la cantidad de biomasa inicial fijada por las plántulas de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: Las semillas de *R. rospiglosii* empleadas en el presente estudio se recolectaron de tres plantaciones experimentales establecidas por la empre-

sa Smurfit Kappa Cartón de Colombia. Las plantaciones se ubican en el departamento del Cauca (Colombia) en la meseta de Popayán y el municipio de El Tambo, específicamente en las fincas La Suecia, Claridad y San José (Tabla 1, Anexo 1). Las plantaciones piloto mencionadas de *R. rospiglosii* han permitido evaluar, a lo largo de un poco más de dos décadas, la adaptación de esta especie nativa a tres sitios geográficos con condiciones climáticas y altitudinales dentro del rango de su distribución natural. La evaluación de la germinación se realizó en el vivero Los Robles perteneciente a la Universidad del Cauca (2°31'0" Norte y 76°35'32" Oeste), el cual se encuentra a una altitud de 1783 msnm, con una temperatura media de 17,8 °C y con una precipitación media anual de 1941 mm (IDEAM 2020).

Recolección de semillas, desinfección y almacenamiento: La recolección de semillas de *R. rospiglosii* se realizó en el mes de febrero debajo de individuos ubicados en estado productivo que cumplieran parámetros técnicos como tamaño del árbol mayor de 10 m y buen estado fitosanitario. Las semillas recolectadas del suelo se seleccionaron cumpliendo con tres parámetros: una drupa visible a simple vista que garantice que no es un fruto dehiscente (donde las semillas salen del fruto antes de que éste caiga al suelo), apreciación visual del tamaño acorde a frutos maduros (< 0,7 cm de ancho y 1,1 cm de ancho), y cubierta color naranja-marrón debido a que presentaban el mejor estado de maduración. Posteriormente, las semillas fueron desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio (2 %) durante 30 minutos. Finalmente, dado lo recalcitrante de las semillas (Marín 1998, Ceballos y López 2007), estas fueron almacenadas en recipientes plásticos con aserrín y se regaron con agua una vez por semana para mantener altos porcentajes de humedad hasta el inicio del experimento de germinación.

Análisis de la calidad de semillas: Con el fin de evaluar las características físicas y biológicas de las semillas

Tabla 1. Procedencia de las semillas de *Retrophyllum rospiglosii* utilizadas en el estudio.

Plantación	Municipio	Cordillera	Coordenadas		Altitud (m)	Precipitación (mm)	Zona de vida
			Lat. N	Long. W			
Finca la Suecia	El Tambo, Cauca	Occidental, vertiente oriental	2°28'57"	76°49'38"	1718	2231	(bmh-PM)
Finca Claridad	Popayán, Cauca	Central, vertiente occidental	2°26'45"	76°33'38"	1971	2168	(bmh-PM)
Finca San José	Cajibío, Cauca	Central, vertiente occidental	2°35'5"	76°33'39"	1826	2190	(bmh-PM)

de *R. rospigliosii* se analizaron los parámetros de pureza, peso, contenido de humedad, viabilidad y germinación según los criterios descritos por las Reglas Internacionales para el Análisis de Semillas (ISTA) (Schmidt 2000).

- Análisis de pureza: consistió en el cálculo del porcentaje de semillas puras en relación con distintos elementos ajenos a la muestra (ASTS 2016). El porcentaje de pureza se calculó como el peso de semilla pura sobre el peso total de la muestra multiplicado por 100.
- Peso de mil semillas y número de semillas por kilogramo: consistió en el peso promedio de ocho réplicas de mil semillas puras cada una (ASTS 2016). Por otra parte, se cuantificó el número de semillas correspondiente a una masa de un kilogramo (ASTS 2016).
- Contenido de humedad: se determinó el contenido de humedad de las semillas ubicándolas en una caja de Petri dentro del horno a una temperatura de 103 ± 2 °C durante 18h. El contenido de humedad se calculó como el peso húmedo menos el peso seco dividido por el peso húmedo y multiplicado por 100.

Análisis de germinación en vivero: En un arreglo de parcelas subdivididas se combinaron tres factores considerados relevantes para la germinación de las semillas de *R. rospigliosii*: sustratos (S), tratamientos pregerminativos (T) y procedencia de las fincas donde se colectaron las semillas (P).

Los sustratos consistieron en tierra negra rica en materia orgánica (S1) y aserrín (S2), ambos sobre una base filtrante conformada por material de piedra triturada para permitir el drenaje del agua. Ambos sustratos se desinfectaron con agua hirviendo para evitar la posterior aparición de hongos o enfermedades en las semillas. Como procedencia se tomaron los tres lugares de origen del material vegetal y se designó como P1 a la Finca Claridad, P2 a la Finca La Suecia y, P3 a la Finca San José. Se realizaron cinco tratamientos pregerminativos (T1, T2, T3, T4, T5) donde se sumergieron las semillas en agua o agua más solución durante 48 horas como se enumeran a continuación:

- T1: Escarificación mecánica completa (eliminación del 100 % de la testa).
- T2: Escarificación mecánica completa + estimulante (citoquinina (kinetina), 0,91 g/L + ácido giberélico (AG₃) 0,051 g/L + ácido indol-3-butírico (AIB) 0,051 g/L).
- T3: Escarificación mecánica completa + ácido indolacético 150 mg/L (pureza del 90 %).
- T4: Escarificación mecánica completa + ácido giberélico 250 mg/L (pureza del 90 %).
- T5: Testigo.

Las semillas se distribuyeron sobre los sustratos en dos camas germinadoras de 4,86 m de longitud y 1,05 m de ancho, elevadas a 1,20 m del suelo y cubiertas con dos capas de polisombra que interceptaban 75 % de la luz incidente y protegían los germinadores del impacto directo de la lluvia. El germinador se dividió en quince subparcelas de 40,5 cm x 21 cm, donde se identificó cada procedencia (P1, P2, P3) por columna y los tratamientos por filas (T1, T2, T3, T4, T5). Para cada sustrato se consideraron 330 semillas (factor principal), un total de 66 semillas por tratamiento pregerminativo (factor subparcela), y 22 semillas por procedencia (factor sub-subparcela). Se consideraron tres repeticiones para un total final de 1980 semillas para el estudio (Fig. 1). Cada semilla se sembró a una distancia de 2 cm y una profundidad de 2 cm. La ubicación de cada semilla y su tratamiento se marcó mediante el uso de palillos de madera. Para mantener el sustrato de germinación húmedo se utilizó riego programado. Finalmente, durante el tiempo del experimento se realizó el monitoreo de la germinación con una frecuencia de tres días. Las variables consideradas fueron la potencia germinativa y la germinación media. La primera se refiere al porcentaje de germinación total al finalizar el ensayo; la segunda, al número de días que transcurrieron hasta que se alcanzó el 50 % de la germinación para cada unidad experimental.

Contenido de biomasa en plántulas: Treinta días posteriores a la emergencia de la radícula se evaluó la biomasa de cada plántula. Para ello, cada individuo fue extraído del germinador, limpiado y finalmente dividido entre biomasa aérea y radicular. Las muestras se secaron a 65 °C hasta llegar a un peso constante donde se registró su biomasa.

Análisis estadístico: El efecto de los diferentes tratamientos en la germinación, la velocidad de germinación y la biomasa de las plántulas se analizó mediante un análisis

Repetición 1					
S1P1T1	S1P2T1	S1P3T1	S2P1T1	S2P2T1	S2P3T1
S1P1T2	S1P2T2	S1P3T2	S2P1T2	S2P2T2	S2P3T2
S1P1T3	S1P2T3	S1P3T3	S2P1T3	S2P2T3	S2P3T3
S1P1T4	S1P2T4	S1P3T4	S2P1T4	S2P2T4	S2P3T4
S1P1T5	S1P2T5	S1P3T5	S2P1T5	S2P2T5	S2P3T5
Repetición 2					
S1P1T1	S1P2T1	S1P3T1	S2P1T1	S2P2T1	S2P3T1
S1P1T2	S1P2T2	S1P3T2	S2P1T2	S2P2T2	S2P3T2
S1P1T3	S1P2T3	S1P3T3	S2P1T3	S2P2T3	S2P3T3
S1P1T4	S1P2T4	S1P3T4	S2P1T4	S2P2T4	S2P3T4
S1P1T5	S1P2T5	S1P3T5	S2P1T5	S2P2T5	S2P3T5
Repetición 3					
S1P1T1	S1P2T1	S1P3T1	S2P1T1	S2P2T1	S2P3T1
S1P1T2	S1P2T2	S1P3T2	S2P1T2	S2P2T2	S2P3T2
S1P1T3	S1P2T3	S1P3T3	S2P1T3	S2P2T3	S2P3T3
S1P1T4	S1P2T4	S1P3T4	S2P1T4	S2P2T4	S2P3T4
S1P1T5	S1P2T5	S1P3T5	S2P1T5	S2P2T5	S2P3T5

(S1P1T1)
22
semillas
por sub -
parcela

Figura 1. Diseño del experimento donde se evaluó la germinación de *Retrophyllum rospigliosii*. Sustratos (S), Tratamientos pregerminativos (T) y Procedencias (P).

de varianza y comparaciones de medias con un nivel de confianza del 95 %, para ello se utilizó el paquete de R GerminaR (Lozano-Isla et al. 2019).

RESULTADOS

Análisis de la calidad de las semillas: La (Tabla 2) presenta los resultados del análisis de calidad de semillas de *R. rospigliosii* por procedencia. En general la pureza de las semillas recolectadas estuvo por encima del 90 %, el peso de 1000 semillas estuvo entre 1567 y 1776 g, mientras que se encontraron entre 566 y 637 semillas por kg. El contenido de humedad de las semillas se encontró entre el 45 y 50 %.

Porcentaje de germinación en vivero: El análisis de varianza mostró un efecto estadísticamente significativo

de las procedencias y los tratamientos pregerminativos en el porcentaje de germinación de *R. rospigliosii*; mientras que el sustrato y las interacciones no presentaron efectos significativos en esta variable (Tabla 3). La procedencia en la cual se alcanzaron los valores promedios más altos de germinación fue P2 (La Suecia), mientras que el más bajo fue P3 (Claridad) (Fig. 2, Anexo 2). Dentro de los tratamientos pregerminativos evaluados se observó que en aquellos que involucraron la remoción de la testa de la semilla (T1 – T4) se alcanzaron valores de germinación más altos; así, el promedio de germinación en dichos tratamientos estuvo entre 52 y 70 %, mientras que el porcentaje de germinación promedio para el tratamiento 5 (T5) fue solo del 34 % (Fig. 2, Anexo 2).

Tiempo medio de germinación: El análisis de varianza mostró que el sustrato, la procedencia y los trata-

Tabla 2. Resultados de análisis de calidad de las semillas de *Retrophyllum rospigliosii*.

Procedencia	Finca	Pureza (%)	Peso 1000 semillas (g)	No. semillas por kg	C.H (%)
P1	Claridad	99,54	1776 ± 61*	566	47,36
P2	La Suecia	98,73	1613 ± 54	637	49,11
P3	San José	93,73	1567 ± 24	619	44,59

*Media ± desviación estándar.

mientos pregerminativos afectaron significativamente el tiempo medio de germinación de *R. rospigliosii*, mientras que las interacciones entre estos factores no presentaron ningún efecto significativo en dicha variable (Tabla 3). El sustrato y la procedencia en las que mejor se desarrolló el proceso de germinación fue el S2 (aserrín) y la procedencia P2 (La Suecia). Al igual que con el porcentaje de germinación, entre los tratamientos pregerminativos evaluados se observó que aquellos que involucraron la remoción de la testa de la semilla (T1 – T4) alcanzaron una germinación más rápida; así, el tiempo promedio de germinación en dichos tratamientos fue entre 57 y 64 días, mientras que el tiempo promedio de germinación para el testigo (T5) fue de 124 días (Fig. 3, Anexo 3). En general, la procedencia P2 (La Suecia) fue la primera en iniciar el proceso de germinación, antes de los 40 días, y mantuvo durante todo el experimento una velocidad de germinación mayor que las demás procedencias. Respecto a los tratamientos, el tratamiento T2 (escarificación mecánica más estimulante) conllevó una mayor velocidad de germinación que el resto

de los tratamientos durante todo el experimento, especialmente sobre el testigo (T5) que comenzó solo a germinar a los 80 días (Fig. 4, Anexo 3).

Contenido de biomasa: El análisis de varianza mostró que el contenido de biomasa aérea de *R. rospigliosii*, un mes después de la germinación, se vio afectado significativamente por el sustrato, la procedencia, los tratamientos pregerminativos, y las interacciones de sustratos*procedencias, y procedencias*tratamientos. El valor más alto de biomasa aérea se presentó en el sustrato S1 (tierra más arena), la procedencia P3 (San José) y el tratamiento T5 (testigo) (Fig. 5a, Anexo 4). Por otro lado, el mismo análisis mostró que el contenido de biomasa radicular se vio afectado solamente por los sustratos y las procedencias (Tabla 3). En general, los tratamientos pregerminativos que involucraron la remoción de la testa (tratamientos 1 al 4) alcanzaron contenidos de biomasa aérea entre 0,092 y 0,158 g, mientras que en las semillas con testa (tratamiento 5, testigo) alcanzaron valores más altos entre 0,141 y 0,182 g (Fig.

Tabla 3. Análisis de varianza correspondiente a los parámetros de germinación evaluados para las semillas de *Retrophyllum rospigliosii*.

Factor	Porcentaje de germinación	Tiempo medio de germinación	Contenido de biomasa aérea	Contenido de biomasa radicular
Sustratos	0,111	< 0,001***	0,014*	< 0,001***
Procedencias	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***
Tratamientos	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	0,071
Sustratos: Procedencias	0,256	0,452	0,017*	0,110
Sustratos: Tratamientos	0,880	0,988	0,054	0,334
Procedencias: Tratamientos	0,261	0,685	0,017*	0,266
Sustratos: Procedencias: Tratamientos	0,814	0,443	0,725	0,878

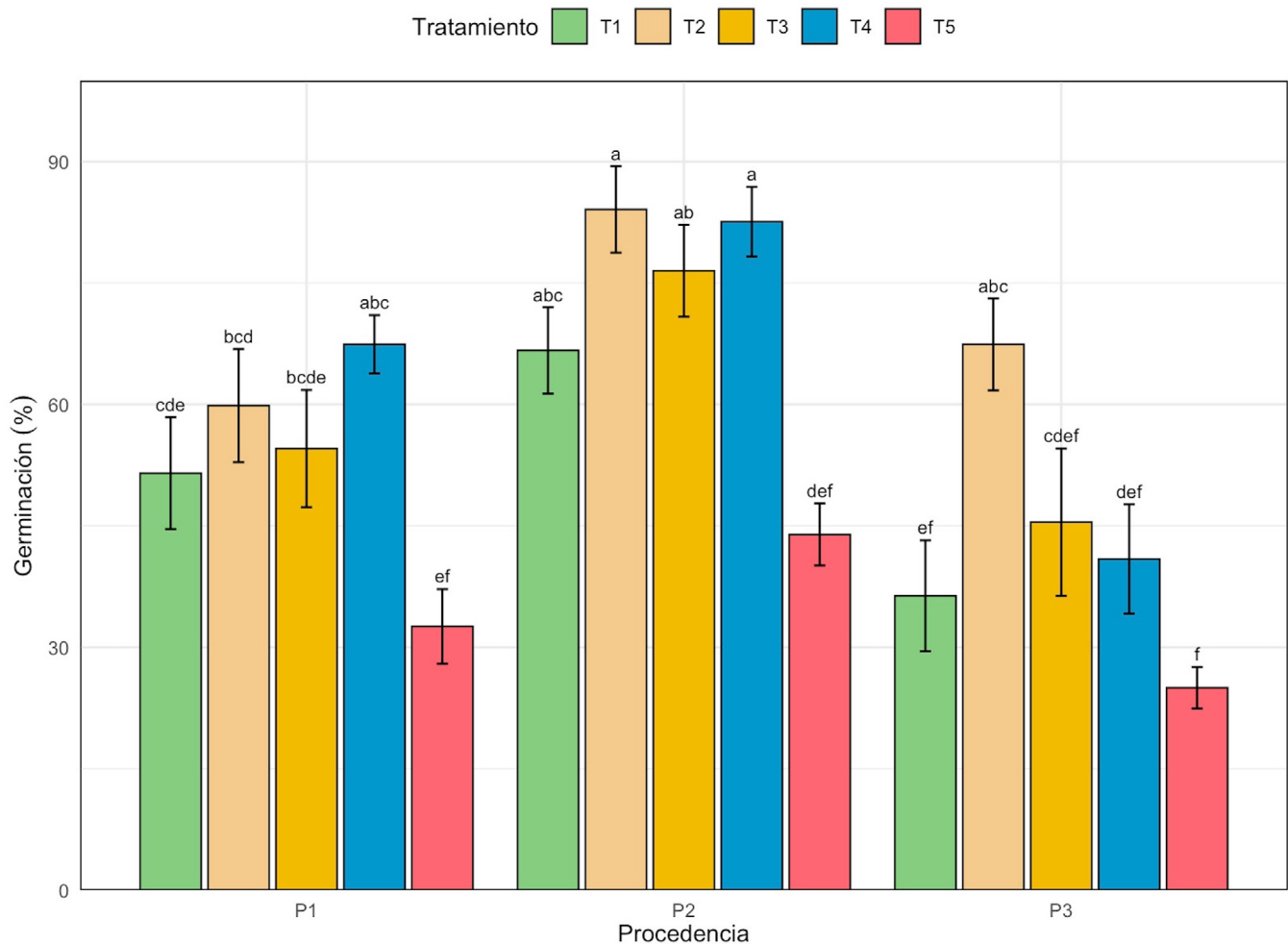


Figura 2. Porcentaje de germinación de *Retrophyllum rospigliosii* según la procedencia de las semillas. Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas entre tratamientos. T1: Tratamiento 1 (escarificación mecánica); T2: Tratamiento 2 (escarificación mecánica más estimulante); T3: Tratamiento 3 (escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: Tratamiento 4 (escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: Tratamiento 5 (testigo). P1: Procedencia 1 (Claridad); P2: Procedencia 2 (La Suecia); P3: Procedencia 3 (San José).

5b). El valor de biomasa radicular más alto se presentó en el sustrato S2 (aserrín), procedencia P1 (Claridad) y tratamiento T4 (escarificación mecánica más ácido giberélico) con valores de biomasa de 0,0476 g.

DISCUSIÓN

Dentro de las estrategias de conservación y recuperación del *R. rospigliosii* se requiere conocer el manejo de las semillas y las técnicas de propagación de dicha especie, lo que permitirá apoyar las tareas de producción y manejo de plantas para los planes de revegetación. En condiciones naturales la regeneración de *R. rospigliosii* ocurre bajo el dosel del bosque en condiciones de alta humedad y baja luminosidad (Cueva y Trujillo 2016). Las semillas utilizadas

en este experimento fueron almacenadas por poco tiempo en recipientes plásticos con aserrín, en condiciones de oscuridad y se regaron con agua periódicamente hasta el inicio del experimento de germinación. Los resultados de germinación alcanzados con los tratamientos pregerminativos más exitosos indican que dicho proceso de almacenamiento fue satisfactorio. Los resultados muestran que el sustrato tuvo un efecto significativo en el tiempo medio de germinación y en el contenido de biomasa, siendo la tierra más arena el sustrato que redujo el tiempo medio de germinación e incrementó el porcentaje de biomasa un mes después de la germinación de las plántulas (Tabla 3, Anexos 2, 3, 4, 5). Posiblemente, aunque la semilla de la especie debe estar siempre en condiciones de alta humedad (Marín 1998, Cueva y Trujillo 2016), el sustrato de tierra más arena generó un sistema estructural de macro-

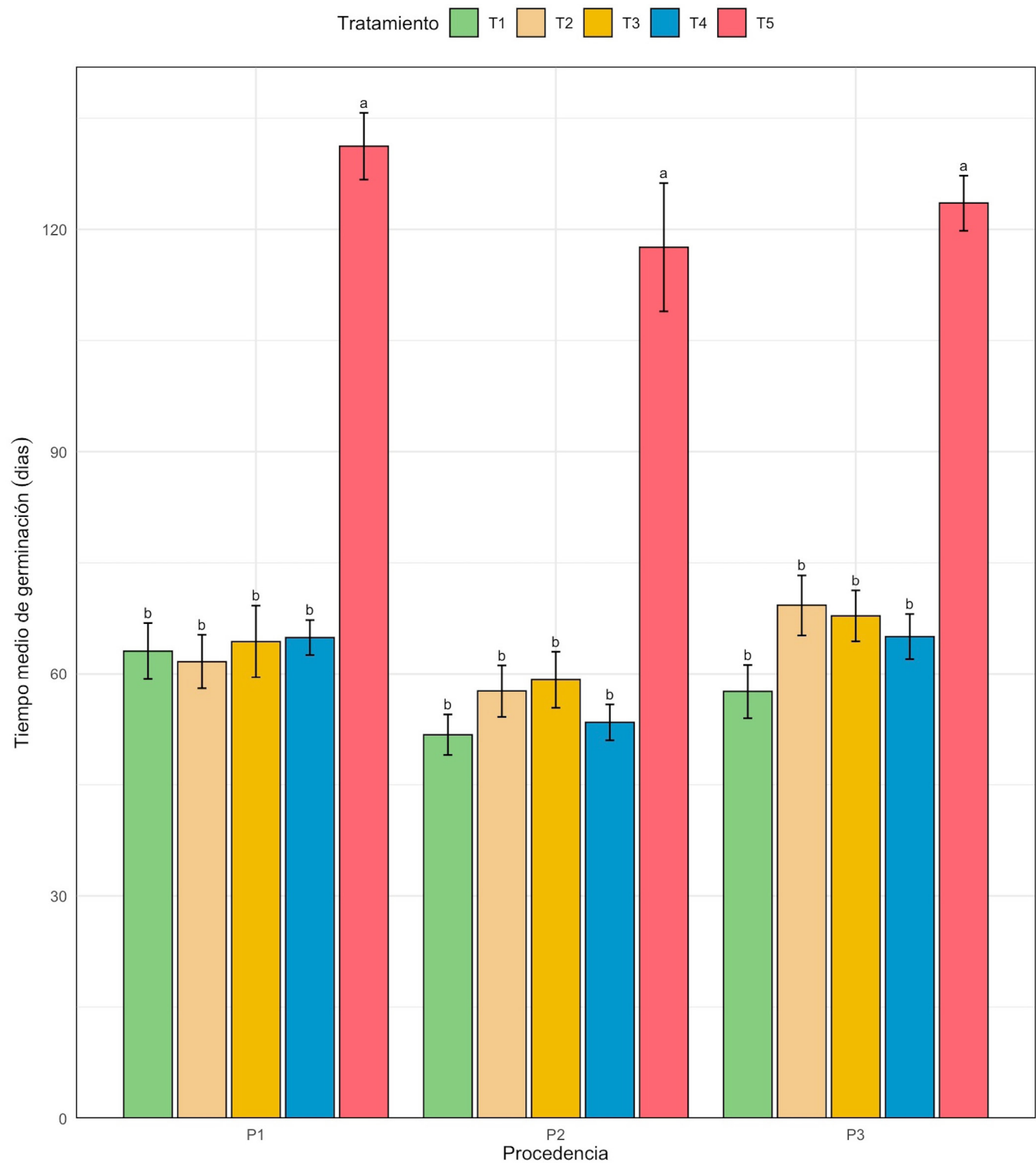


Figura 3. Tiempo promedio de germinación de *Retrophyllum rospigliosii* según la procedencia de las semillas. Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas entre tratamientos. T1: Tratamiento 1 (escarificación mecánica); T2: Tratamiento 2 (escarificación mecánica más estimulante); T3: Tratamiento 3 (escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: Tratamiento 4 (escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: Tratamiento 5 (testigo). P1: Procedencia 1 (Claridad); P2: Procedencia 2 (La Suecia); P3: Procedencia 3 (San José).

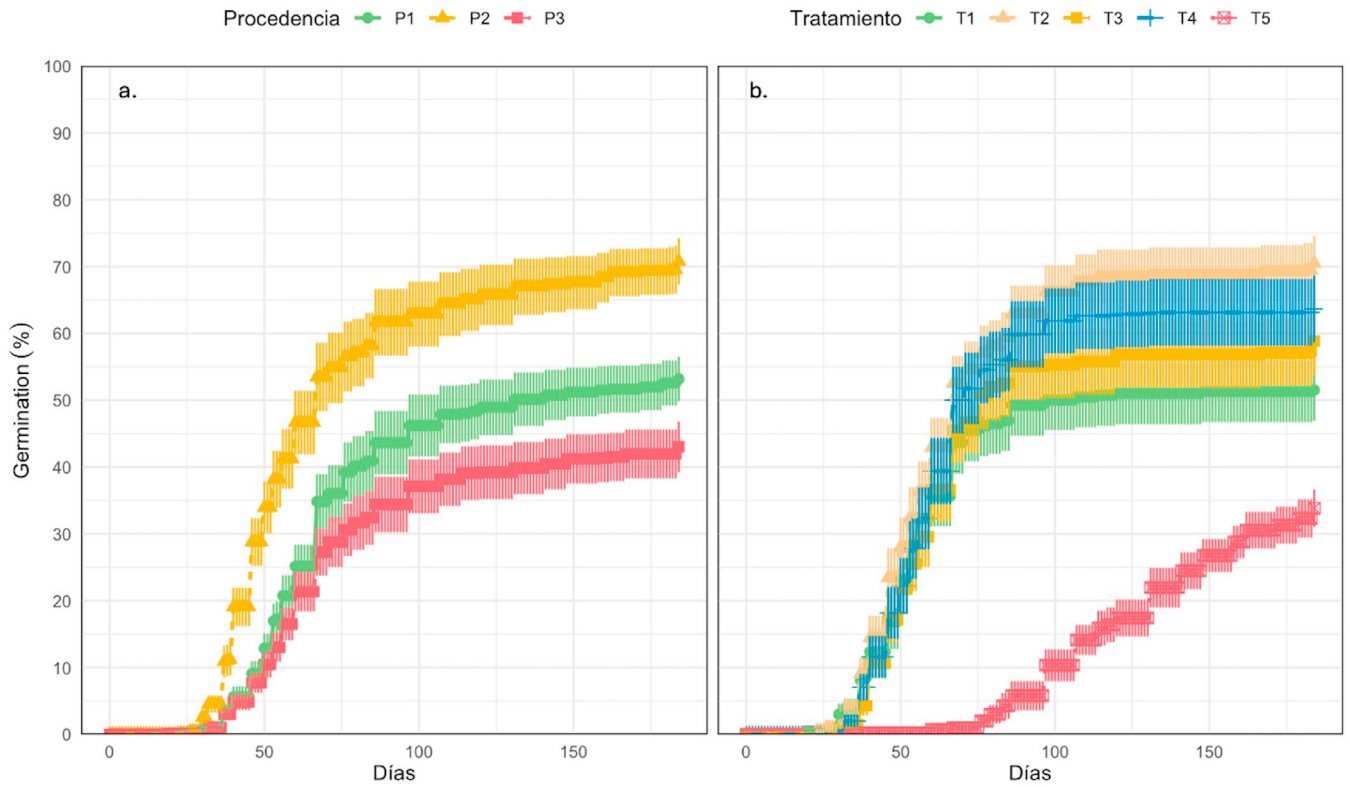


Figura 4. Tiempo promedio de germinación de *Retrophyllum rospigliosii* según factor procedencias (a) y tratamiento (b). P1: Procedencia 1 (Claridad); P2: Procedencia 2 (La Suecia); P3: Procedencia 3 (San José). T1: Tratamiento 1 (Escarificación mecánica); T2: Tratamiento 2 (Escarificación mecánica más estimulante); T3: Tratamiento 3 (Escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: Tratamiento 4 (Escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: Tratamiento 5 (Testigo). Barras verticales representan la desviación estándar por periodo de medición.

poros que incrementó la aireación y el drenaje respecto al sustrato de aserrín (Landis 1990).

Respecto a las procedencias evaluadas, estas tuvieron un efecto significativo en el porcentaje de germinación, el tiempo medio de germinación y el contenido de biomasa (Tabla 3, Anexos 2, 3, 4, 5). La procedencia que presentó mejor desempeño fue la de la finca La Suecia, la cual alcanzó los valores más altos de germinación (84,84 %) e inició el proceso de germinación en menor tiempo (51 días) en comparación a las otras dos procedencias (57 a 61 días). La finca La Suecia, en comparación con los otros dos lugares considerados, es la que se encuentra sobre la vertiente occidental de la Cordillera Oriental y cuenta con menor altitud que los otros dos lugares (1718 msnm). Una razón considerada por la cual dicha procedencia pudo presentar mayor desempeño es la similitud en las condiciones ambientales y la altitud entre el lugar de procedencia y el vivero (1783 y 1718 msnm, respectivamente para el vivero y la procedencia).

Los pocos reportes existentes sobre la germinación de *R. rospigliosii* mencionan que la respuesta germinativa de las semillas de la especie es muy variable y que no existe evidencia del efecto positivo de tratamientos pregerminativos o sustratos en la potencia germinativa y período de germinación (Marín 1998, Gómez y Toro 2007, Cueva y Trujillo 2016). En general se sugiere sumergir las semillas en agua por uno o dos días (Rodríguez *et al.* 1984, Nieto y Rodríguez 2002) o más tiempo, incluso hasta tres semanas (Lamprecht 1990, Gómez y Toro 2007). En este estudio todas las semillas se sumergieron en agua o agua más solución (dependiendo del tratamiento) por 48 horas mostrando resultados satisfactorios.

Por otro lado, la implementación de escarificación mecánica como tratamiento pregerminativo en las semillas de la especie aumentó la germinación y aceleró notablemente el periodo de emergencia del embrión (Fig. 3, 4, 5). Se encontró que las semillas no sometidas a escarificación alcanzaron en promedio valores de germinación del 46,97 %, mientras que la escarificación, únicamente como

tratamiento, incrementó significativamente el porcentaje de germinación hasta el 52,01 %. Así, la escarificación posiblemente permitió romper más rápido la latencia de las semillas y alcanzar una madurez fisiológica más temprana al hacerlas más permeables al agua, gases y nutrientes (Salisbury y Ross 1991, Baskin y Baskin 2014). Por ejemplo, en *Afrocarpus usambarensis* (Pilg.) C.N.Page, solo la escarificación completa de la testa de la semilla conllevó la ruptura de la dormancia exógena y el incremento de la germinación hasta el 81 % (Chamshama y Downs 1982).

El tratamiento pregerminativo de escarificación mecánica más estimulante y el tratamiento escarificación mecánica más ácido giberélico (tratamientos T2 y T4) fueron los que presentaron mayor influencia positiva en la germinación, alcanzando valores del 84,84 % y 82,57 %, respectivamente. Dichos porcentajes de germinación logrados son superiores a los máximos reportados por Ceballos y López (2007), o Cueva y Trujillo (2016) para *R. rospigliosii*, que fueron de 75 % y 80 %, respectivamente. También existe una diferencia significativa en el tiempo medio de germinación entre las semillas escarificadas (tratamientos T1-

T4) que tardaron entre 51 a 61 días en iniciar su proceso de germinación y las semillas sin escarificación (tratamiento T5) que tardaron hasta 131 días. La aplicación de fitohormonas aceleró el proceso de germinación ya que las gibberelinas utilizadas en el tratamiento T2 y T4 son importantes para activar semillas latentes dado que promueven la elongación celular y son inhibidoras del ácido abscísico que es responsable de la dormancia innata de las semillas (White *et al.* 2000, Miransari y Smith 2009, Finch-Savage 2013).

Además, el tratamiento T2, que además de giberelina contenía citoquinina (kinetina) y ácido indolbutírico, pudo promover una mayor división celular de las semillas y favorecer la activación de estas (George *et al.* 2008). Ensayos con kinetinas muestran que dicha hormona además de incentivar la división celular promueve las defensas de las semillas al momento de germinar (Verma *et al.* 2016), lo que es especialmente relevante en las semillas que sometidas a condiciones de estrés (Nikolić *et al.* 2007). Resultados un poco inferiores en el tiempo de germinación se presentaron en el tratamiento T3 que utilizó únicamente ácido indolacético. El ácido indolacético estimula la germi-

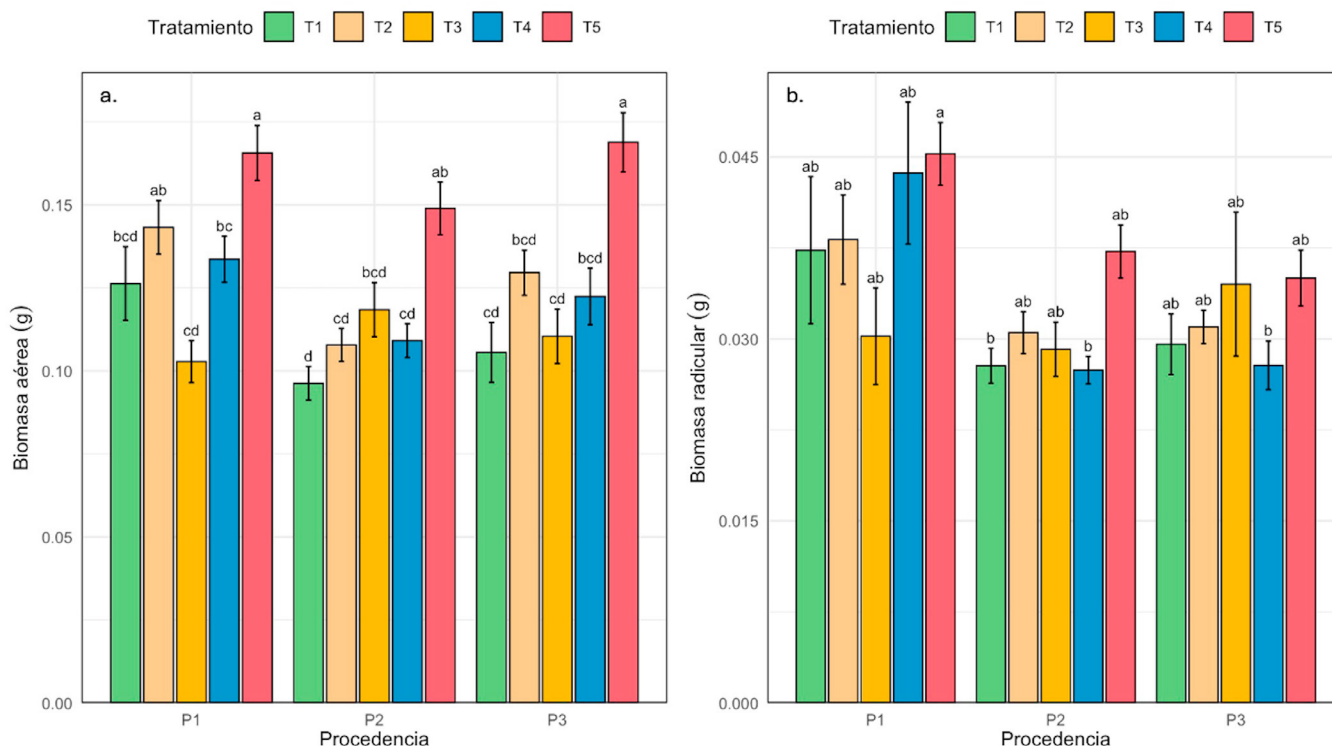


Figura 5. Contenido de biomasa aérea (a) y radicular (b) en el factor procedencia - tratamiento para *Retrophyllum rospigliosii*. Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas entre tratamientos. T1: Tratamiento 1 (escarificación mecánica); T2: Tratamiento 2 (escarificación mecánica más estimulante); T3: Tratamiento 3 (escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: Tratamiento 4 (escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: Tratamiento 5 (testigo). P1: Procedencia 1 (Claridad); P2: Procedencia 2 (La Suecia); P3: Procedencia 3 (San José).

nación de semillas y la formación de tejidos, y afecta también la actividad de ciertas enzimas en las plantas (Bandurski et al., 1993, Jankiewicz y Acosta-Zamudio, 2003).

Dado que no se tuvo un tratamiento utilizando únicamente ácido giberélico sin escarificación mecánica, es imposible determinar el efecto independiente de otro tipo de dormancia diferente a la innata impuesta por los tegumentos duros de la semilla. Estos resultados obtenidos señalan un proceso de germinación más rápido que el reportado por Becerra (1972), Cueva y Trujillo (2016), y Lamprecht y Liscano (1957), quienes señalan que el proceso de germinación toma un tiempo promedio entre cuatro y ocho meses. Ello apunta a la necesidad de utilizar tratamientos pregerminativos específicos y probados con el fin de facilitar e incrementar el proceso de germinación y reducir el periodo de emergencia de los embriones de *R. rospigliosii*.

Respecto al contenido de biomasa un mes después de la emergencia, es importante considerar que los tratamientos pregerminativos que involucraron la remoción de la testa (tratamientos T1 al T4) alcanzaron contenidos de biomasa aérea entre 0,092 y 0,158 g, mientras que en las semillas con testa (tratamiento T5, testigo) alcanzaron valores entre 0,141 y 0,182 g (Fig. 6). Resultados similares fueron encontrados por Amador-Alfárez et al. (2013), en semillas de *Ferocactus histrix* (DC.) G.E.Linds. en las cuales observaron que las plántulas de dos meses correspondientes al control (semillas no tratadas) fueron aquellas con mayor peso fresco.

El tiempo medio de germinación podría ser una buena medida de la rapidez con la que una plántula podría adaptarse a un ambiente determinado (Ferreira et al. 2001). La lenta germinación de las semillas del tratamiento T5 (testigo), así como su mayor asignación de biomasa a las plántulas respecto al resto de tratamientos, es acorde con la estrategia de vida de esta especie y podría considerarse una adaptación para superar ambientes que no siempre son favorables para el crecimiento de las plántulas (Leck et al. 1989, Doussi and Thanos 2002), junto como una estrategia para permanecer mayor tiempo en el banco de semillas (Saatkamp et al. 2011). Así, se podría hipotetizar de que en condiciones naturales las semillas que tomaron más de tres meses para germinar (tratamiento T5, testigo), serían más fuertes y tendrían mayores probabilidades de supervivencia debido a su mayor asignación de biomasa que aquellas del resto de tratamientos.

Se esperaba que la adición de los reguladores de crecimiento vegetal utilizados debería estimular la formación de brotes y raíces (Coello et al. 2010), ello dado que dichos reguladores estimulan la síntesis de los componentes que forman la pared celular de las células en crecimiento (Kutschera y Briggs 1987). No obstante, en el presente trabajo dichas fitohormonas no favorecieron el incremento de la biomasa de las plántulas de *R. rospigliosii* respecto al testigo, lo que señala la necesidad de conocer más sobre la función de éstas en la respuesta germinativa y el crecimiento en las diferentes especies. Por ejemplo, como se ha demostrado en variedad de especies cultivadas donde el efecto de las giberelinas sobre el crecimiento celular depende de la presencia de auxinas (Ross y O'Neill 2001). Finalmente, los resultados de biomasa también podrían señalar un rol funcional de dicha testa removida, la cual podría proporcionar nutrientes necesarios para el crecimiento de la plántula una vez se rompe y comienza a descomponerse (Díaz et al. 2016).

En síntesis, estos resultados señalan que se pueden esperar hasta 500 plántulas reales promedio por kg de semilla (tratamiento T2), en contraste con el tratamiento testigo (T5) que produce únicamente 140 plántulas. Ello contrasta con los resultados de Trujillo (2009), quien reporta una producción aproximada de 200 plántulas por kilogramo de semilla de la especie, y muestra los beneficios otorgados por los tratamientos aquí planteados. Así, los tratamientos pregerminativos aplicados más favorables alcanzan un porcentaje de germinación cercana al 85 % y generan una ganancia de 300 semillas por kg, aproximadamente. También, cabe resaltar que no se encontraron problemas en vivero relacionados con plagas o enfermedades, a pesar de que se han señalado múltiples problemas en vivero como la lenta germinación, su espaciamento temporal o el ataque de patógenos o insectos con esta especie (Marín 1998).

CONCLUSIONES

Dado el conocimiento limitado que aún se tiene sobre *R. rospigliosii*, los resultados del presente estudio señalan aspectos útiles y prácticos sobre el almacenamiento de semillas, el manejo y la germinación de esta importante especie del bosque andino de Colombia. Los resultados indican la necesidad de escarificación mecánica y aplicación de estimulante o ácido giberélico (tratamientos T2 y T4, respectivamente) para acelerar el periodo de emergencia del embrión y optimizar la germinación hasta valores de

84,84 % y 82,57 %, respectivamente. El análisis del contenido de biomasa de las plántulas mostró que el testigo (tratamiento T5 sin escarificación) presentó mayor contenido de biomasa tanto aérea como radicular, señalando un posible rol de la testa removida en la nutrición y crecimiento de la plántula una vez las semillas germinan.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

SJM, JGH, AMM y JAR concepción y diseño; SJM y JGH llevaron a cabo la investigación en terreno; SJM, JGH análisis de los datos y escritura del documento, con el apoyo de AMM y JAR. Todos los autores contribuyeron a la discusión y comentaron los borradores.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los miembros del Semillero de Investigación en Silvicultura Aplicada de la Universidad del Cauca por su colaboración en el desarrollo del trabajo de campo y a la empresa Smurfit Kappa Colombia por facilitar los tres sitios experimentales para la recolección de las semillas y por su apoyo logístico para la realización en el trabajo de campo y vivero.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

REPOSITORIO

La información que soporta los resultados se encuentra en: <https://github.com/j-ramirez-unicauca/germinacion-retrophyllum>.

LITERATURA CITADA

Amador-Alfárez KA, Díaz-González J, Loza-Cornejo S, Bivián-Castro EY. 2013. Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de ferocactus (Cactaceae). *Polibotánica*. (35):109-131.

Arana I, Orruño M, Barcina I. 2010. Como abordar y resolver aspectos prácticos de microbiología. Enumeración de microorganismos. País Vasco: Departamento Inmunología, Microbiología y Parasitología, Universidad del País Vasco.

[ASTS] Alberta Seed Testing Standards. 2016. Alberta seed testing standards. First edition. Alberta: Alberta Government.

Ayma-Romay A. 2005. Estudio de propagación sexual de pino de monte (*Podocarpus glomeratus* D. Don) en la comunidad de sailapata-independencia (Independencia, Cochabamba – Bolivia). [Tesis]. [Cochabamba]: Universidad Mayor de San Simón. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4873.0005>

Bandurski RS, Slovi JP, Cohen JD. 1993. Auxinas. En: Azcon-Bieto J, Talon M, editores. *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. Madrid: Interamericana, McGraw-Hill. p. 285-300.

Baskin JM, Baskin CC. 2014. What kind of seed dormancy might palms have? *Seed. Sci. Res.* 24(1):17-22. doi: <https://doi.org/10.1017/S0960258513000342>

Becerra JE. 1972. Hábitat, silvicultura y usos de algunas especies forestales importantes en la reforestación y la regeneración de los bosques naturales. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Cavelier J, Tobler A. 1998. The effect of abandoned plantations of *Pinus patula* and *Cupressus lusitanica* on soil sand regeneration of a tropical montane rain forest in Colombia. *Biodivers. Conserv.* 7(3):335-347. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1008829728564>

Ceballos A, López J. 2007. Conservación de la calidad de semillas forestales nativas en almacenamiento. *Cenicafé*. 58(4):265-292.

Chamshama S, Downs R. 1982. Germination behaviour of *Chlorophora excelsa*, (welw.) benth. & hook and *Podocarpus usambarensis*, pilger. *Indian Forester* 108(6):397-401.

Coello CY, Miceli CL, Orantes C, DenDooven L, Gutiérrez FA. 2010. Optimización de reguladores de crecimiento para el cultivo in vitro de la orquídea *Guarianthe skinneri* (Bateman) Dressier & W.E Higgins. *Gayana Bot.* 67(1):19-26. doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432010000100003>

Cueva N, Trujillo E. 2016. Biología reproductiva pino romerón *Retrophyllum rospigliosii* (Pilg.) C.N. Page. Pensilvania, Colombia: Colegio Integrado Nacional Oriente De Caldas. [Revisada en: 10 Feb 2021] <https://iescinoc.edu.co/wp-content/uploads/Biologia-reproductiva-del-pino-romeron.pdf>

del Amo S, Vergara M, Ramos J, Sainz Campillo C. 2009. Germinación y manejo de especies forestales tropicales. Xalapa: Universidad Veracruzana.

Díaz S, Kattge J, Cornelissen JH, Wright IJ, Lavorel S, Dray S, Reu B, Kleyer M, Wirth C, Colin I, Garnier E, Bönisch G, Westoby M, Poorter H, Reich PB, Moles AT, Dickie J, Gillison AN, Zanne AE, Chave J, S. Wright J, Sheremet'ev SN, Jactel H, Baraloto C, Cerabolini B, Pierce S, Shipley B, Kirkup D, Casanoves F, Joswig JS, Günther A, Falczuk V, Rüger N, Mahecha MD, Gorné LD. 2016. The global spectrum of plant form and function. *Nature*. 529(7585):167-171. doi: <https://doi.org/10.1038/nature16489>

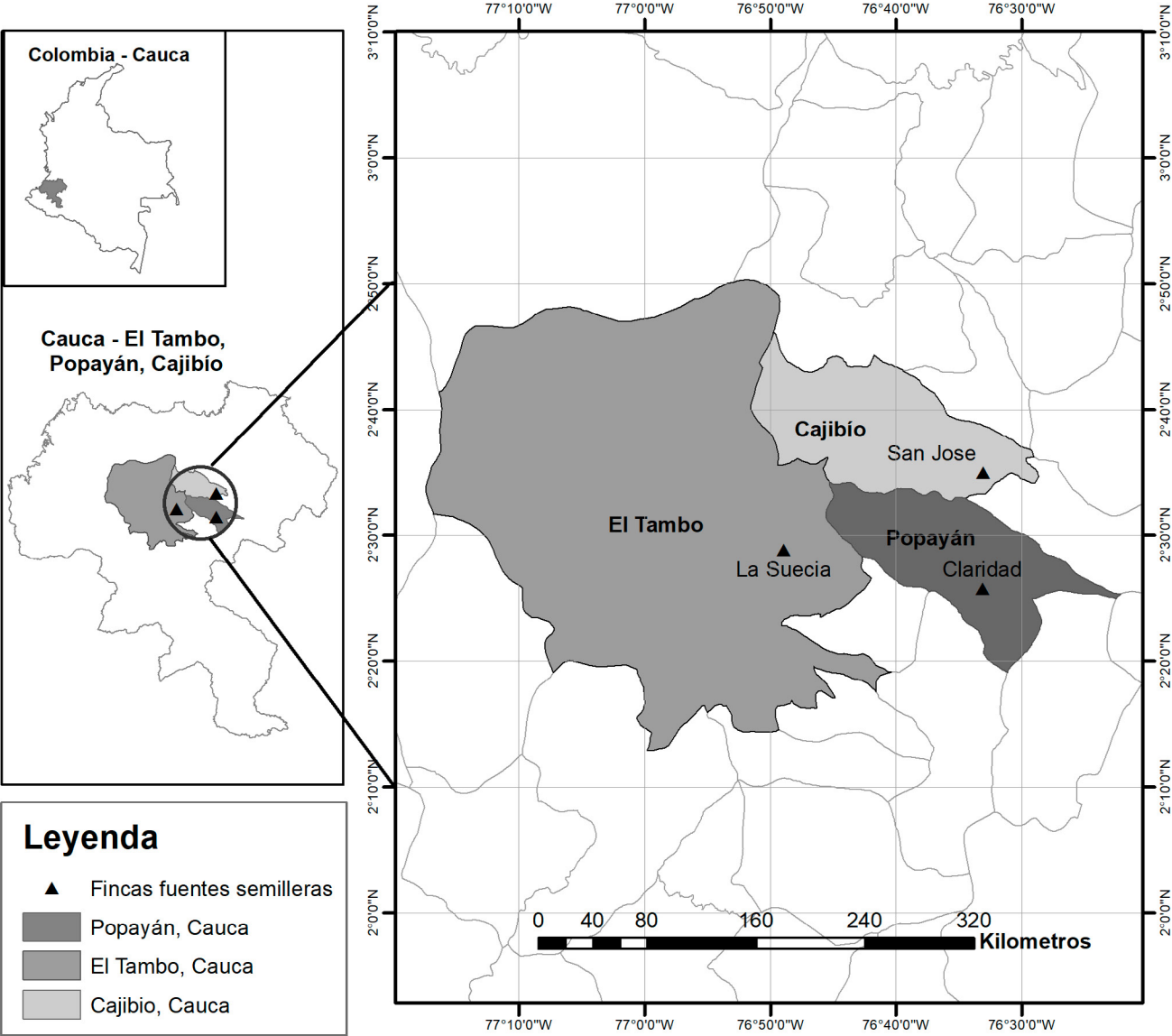
Doussi MA, Thanos CA. 2002. Ecophysiology of seed germination in Mediterranean geophytes. 1. *Muscari* spp. *Seed Science Research*. 12(3):193-201. doi: <https://doi.org/10.1079/SSR2002111>

- Ferreira AG, Cassol B, Rosa SGT, Silveira TS, Stival AL, Silva AA. 2001. Germinação de sementes de Asteraceae nativas no Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 15(2):231-242. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000200009>
- Finch-Savage B. 2013. Seeds: Physiology of development, germination and dormancy. (3rd edition). In: Bewley JD, Bradford KJ, Hwm Hilhorst H. Nonogaki. 392 pp. Springer. *Seed. Sci. Res.* 23(4):289-289. doi: <https://doi.org/10.1017/S0960258513000287>
- García FP, Villamil JMP. 1999. Dormición de semillas. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. [Revisada en: 12 Nov 2022] https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1999_2103.pdf
- George EF, Hall MA, De Klerk GJ. 2008. Plant Propagation by Tissue Culture. 3rd Edition. In: George, E. F., Hall, M. A., Klerk, G. J. D. (eds). Dordrecht: Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5005-3_1
- Gómez M, Toro J, Piedrahita E. 2013. Propagación y conservación de especies arbóreas nativas. Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Corantioquia. [Revisada en: 17 Mar 2021] <https://www.corantioquia.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/Arboreas-Nativas.pdf>
- Gómez M, Toro J. 2007. Manejo de las semillas y la propagación de diez especies forestales del bosque andino. Corporación Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, Corantioquia. [Revisada en: 20 Ago 2022] <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1104>
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2020. Boletín Climatológico. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- [IUCN] International Union for Conservation of Nature. 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. [Revisada en: 20 Mar 2023]. <https://www.iucnredlist.org/en>
- Jankiewicz SL, Acosta-Zamudio C. 2003. Auxinas. Jankiewicz SL, editor. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas, propiedades y acción. Texcoco: Universidad Autónoma Chapingo, Mundi Prensa. p. 21-66.
- Kutschera U, Briggs WR. 1987. Rapid auxin-induced stimulation of cell wall synthesis in pea internodes. *P. Natl. Acad. Sci. Usa.* 84(9):2747-2751. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.84.9.2747>
- Lamprecht H. 1990. Silvicultura en los trópicos: Los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Berlín: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. [Revisada en: 03 Abr 2020] <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1232>
- Lamprecht H, Liscano C. 1957. Estudios sobre la germinación de *Podocarpus rospigliosi* pilger y su desarrollo en la juventud. *Boletín (Venezuela) N.* 2:41-47.
- Landis TD. 1990. Containers and growing media. En: Landis T, Tinus R, McDonald S, Barnett J, editores. The container tree nursery manual, Vol. 2. Washington: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. p. 41-85.
- Leck MA, Parker VT, Simpson R. 1989. Ecology of soil seed banks. New York: Academic Press.
- Lozano-Isla F, Benites-Alfaro OE, Pompelli MF. 2019. GerminaR: An R package for germination analysis with the interactive web application "GerminaQuant for R." *Ecological Research* 34(2):339-346. doi: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1275>
- Ludeña P, Bueno J. 1989. Pulpa química al sulfato de tres especies forestales de la selva central. *Rev. For. Peru.* 16(2):49-56.
- Marín A. 1998. Ecología y silvicultura de las podocarpaceas andinas de Colombia. Cali, Colombia: Departamento de Investigación Forestal, Smurfit Cartón de Colombia. [Revisada en: 12 Dic 2021] <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/590>
- Mill RR. 2016. A monographic revision of *Retrophyllum* (Podocarpaceae). *Edinb. J. Bot.* 73(2):171-261. doi: <https://doi.org/10.1017/S0960428616000081>
- Miransari M, Smith D. 2009. Rhizobial Lipo-Chitoooligosaccharides and gibberellins enhance Barley (*Hordeum vulgare* L.) Seed germination. *Biotechnology.* 8(2):270-275. doi: <https://doi.org/10.3923/biotech.2009.270.275>
- More P, Cuellar J, Salazar E. 2021. Propagación vegetativa de *Retrophyllum rospigliosi* (Pilg.) C.N. Page "ulcumano" en cámara de subirrigación en Chanchamayo / Perú. *Ecología Aplicada.* 20(1):15-23. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1687>
- Nieto VM, Rodríguez J. 2002. *Podocarpus montanus* (humb. & bonpl. Ex willd.) Lodd. In: Vozzo JA, editor. Tropical Tree Seed Manual. Washington: US Department of Agriculture, Forest Service. P. 245.
- Nikolić R, Mitić N, Živković S, Grubišić D, Nešković M. 2007. Cytokinins and urea derivatives stimulate seed germination in *Lotus corniculatus* L. *Arch. Biol. Sci.* 59(2):125-128. doi: <https://doi.org/10.2298/ABS0702125N>
- Parent G. 2017. Guía de reforestación. Bucaramanga: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB. [Revisada en : 22 Ene 2021]. <http://biblioteca.minagricultura.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17731>
- Pérez F. 2003. Germinación y dormición de semillas. En: Sánchez A, Arroyo M, Navarro M, editores. Material vegetal de reproducción: manejo, conservación y tratamiento. Sevilla, España: Junta de Andalucía. p. 117-200.
- Ramírez JA, Marín A, Urrego JB, Castaño A, Ospina R. 2021. Efecto de la fertilización en el crecimiento de *Retrophyllum rospigliosi* de la zona andina colombiana. *Mad. y Bosques.* 27 (3): e2732315. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732315>

- Rezende RG, de Jesus LL, Nery MC, de Souza Rocha A, Cruz SM, de Resende Andrade PC. 2015. Tetrazolium test in crambe seeds. *Semin. Cienc. Agrar.* 36(4):2539-2544. doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2539>
- Rodríguez J, Peña S, Plata E. 1984. Flora de los Andes: Cien especies del altiplano cundiboyacense. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de de las Cuencas de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez. [Revisada en: 28 jun 2021]. https://books.google.com.co/books/about/Flora_de_los_Andes.html?id=4Q8iygEACAAJ&redir_esc=y
- Ross J, O'Neill D. 2001. New interactions between classical plant hormones. *Trends Plant Sci.* 6(1):2-4. doi: [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01795-7](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01795-7)
- Saatkamp A, Affre L, Dutoit A, Poschlod P. 2011. Germination traits explain soil seed persistence across species: the case of Mediterranean annual plants in cereal fields. *Ann. Bot.* 107(3):415-426. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcq255>
- Salisbury FB, Ross CW. 1991. Plant physiology. 4th Edition. Belmont: Wadsworth Publishing Company.
- Schmidt L. 2000. Guide to handling of tropical and subtropical forest seed. Copenhagen: Danida Forest Seed Centre. [Revisada en: 30 Dic 2021]. https://www.academia.edu/80174746/Guide_to_handling_of_tropical_and_subtropical_forest_seed
- Trujillo E. 2009. Guía de reforestación. Segunda edición. Bogotá: El Semillero.
- Verma V, Ravindran P, Kumar PP. 2016. Plant hormone-mediated regulation of stress responses. *BMC Plant Biol.* 16(86). doi: <https://doi.org/10.1186/s12870-016-0771-y>
- White CN, Proebsting WM, Hedden P, Rivin CJ. 2000. Gibberellins and seed development in maize. I. Evidence that gibberellin/abscisic acid balance governs germination versus maturation pathways. *Plant Physiol.* 122(4):1081-1088. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.122.4.1081>
- Yaguana C, Lozano D, Neill DA, Novillo GM. 2012. Diversidad florística y estructura del bosque nublado del río numbala, Zamora-Chinchipe, Ecuador: El “bosque gigante” de podocarpaceae adyacente al parque nacional podocarpus. *Rev. Amazon. Cienc. Tecnol.* 1(3):226-247. doi: <https://doi.org/10.59410/RACYT-vo1n03ep05-0019>

Anexo 1. Localización del sitio de estudio, fase de campo.

Ubicación de las fuentes semilleras seleccionadas, municipios de Popayán, Cajibío y El Tambo



Anexo 2. Promedios y variaciones del porcentaje de germinación de *Retrophyllum rospigliosii* para cada sustrato, procedencia y tratamiento.

Sustrato	Procedencia	Tratamiento	Germinación promedio (%)	Coefficiente de variación (%)
S1	P1	T1	39,394	40,522
		T2	63,636	31,135
		T3	54,545	22,048
		T4	68,182	17,638
		T5	31,818	14,286
	P2	T1	66,667	27,555
		T2	83,333	17,534
		T3	77,273	25,641
		T4	80,303	8,646
		T5	46,970	14,783
	P3	T1	33,333	69,976
		T2	59,091	27,735
		T3	37,879	85,135
		T4	31,818	42,857
		T5	22,727	20,000
S2	P1	T1	63,636	7,143
		T2	56,061	30,697
		T3	54,545	46,398
		T4	66,667	10,415
		T5	33,333	51,626
	P2	T1	66,667	14,193
		T2	84,848	17,221
		T3	75,758	12,490
		T4	84,848	17,221
		T5	40,909	29,397
	P3	T1	39,394	29,038
		T2	75,758	3,464
		T3	53,030	9,897
		T4	50,000	31,492
		T5	27,273	28,868

Letras distintas indican diferencias estadísticas entre promedios. Prueba Student Newman Keuls (SNK) al 5%. S1: (Tierra más arena); S2:(Aserrín). P1: (Claridad); P2 (La Suecia); P3 (San José). T1: (Escarificación mecánica); T2: (Escarificación mecánica más estimulante); T3: (Escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: (Escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: (Testigo).

Anexo 3. Promedios y variaciones del tiempo medio de germinación de *Retrophyllum rospigliosii* para cada sustrato, procedencia y tratamiento.

Sustrato	Procedencia	Tratamiento	Tiempo medio de germinación (días)	Coefficiente de variación (%)
S1	P1	T1	58,959	20,965
		T2	64,402	17,378
		T3	62,637	13,973
		T4	62,310	6,005
		T5	127,232	8,439
	P2	T1	50,941	16,706
		T2	50,120	5,165
		T3	56,128	6,027
		T4	49,636	11,842
		T5	107,450	25,525
	P3	T1	50,282	5,558
		T2	63,250	18,323
		T3	63,836	17,180
		T4	62,426	9,258
		T5	124,633	10,175
S2	P1	T1	67,180	5,044
		T2	58,904	11,951
		T3	66,073	24,607
		T4	67,485	10,319
		T5	135,237	8,678
	P2	T1	52,615	11,528
		T2	65,209	3,687
		T3	62,262	21,382
		T4	57,261	5,331
		T5	127,732	6,514
	P3	T1	64,931	7,803
		T2	75,249	3,131
		T3	71,793	3,708
		T4	67,622	13,563
		T5	122,452	5,468

Letras distintas indican diferencias estadísticas entre promedios. Prueba Student Newman Keuls (SNK) al 5%. S1: (Tierra más arena); S2:(Aserrín). P1: (Claridad); P2 (La Suecia); P3 (San José). T1: (Escarificación mecánica); T2: (Escarificación mecánica más estimulante); T3: (Escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: (Escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: (Testigo).

Anexo 4. Contenido de biomasa aérea de *Retrophyllum rospigliosii* un mes después de la germinación.

Sustrato	Procedencia	Tratamiento	Contenido de biomasa aérea (g)	Coefficiente de variación
S1	P1	T1	0,120	64,084
		T2	0,131	61,437
		T3	0,092	57,685
		T4	0,108	53,787
		T5	0,170	21,673
S1	P2	T1	0,097	52,409
		T2	0,106	57,869
		T3	0,120	71,616
		T4	0,108	49,600
		T5	0,156	45,676
	P3	T1	0,104	55,621
		T2	0,113	63,027
		T3	0,099	53,089
		T4	0,120	57,915
		T5	0,182	32,559
	P1	T1	0,130	76,260
		T2	0,156	36,091
		T3	0,114	47,368
		T4	0,158	36,311
		T5	0,163	34,000
S2	P2	T1	0,096	45,175
		T2	0,110	37,121
		T3	0,117	65,263
		T4	0,110	47,413
		T5	0,141	31,526
	P3	T1	0,107	61,057
		T2	0,142	38,290
		T3	0,119	57,420
		T4	0,124	45,889
		T5	0,151	33,334

Letras distintas indican diferencias estadísticas entre promedios. Prueba Student Newman Keuls (SNK) al 5%. S1: (Tierra más arena); S2:(Aserrín). P1: (Claridad); P2 (La Suecia); P3 (San José). T1: (Escarificación mecánica); T2: (Escarificación mecánica más estimulante); T3: (Escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: (Escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: (Testigo).

Anexo 5. Contenido de biomasa radicular de *Retrophyllum rospigliosii* un mes después de la germinación.

Sustrato	Procedencia	Tratamiento	Contenido de biomasa radicular (g)	Coefficiente de variación
S1	P1	T1	0,0290	54,833
		T2	0,0306	70,428
		T3	0,0239	54,794
		T4	0,0395	163,476
		T5	0,0440	43,341
	P2	T1	0,0266	52,437
		T2	0,0310	74,810
		T3	0,0254	44,098
		T4	0,0249	41,657
		T5	0,0365	44,066
	P3	T1	0,0262	55,121
		T2	0,0277	50,698
		T3	0,0243	46,045
		T4	0,0248	55,080
		T5	0,0382	46,117
S2	P1	T1	0,0429	145,613
		T2	0,0464	85,379
		T3	0,0369	126,751
		T4	0,0476	82,814
		T5	0,0459	28,646
	P2	T1	0,0289	42,820
		T2	0,0301	37,340
		T3	0,0327	88,643
		T4	0,0298	42,181
		T5	0,0379	45,180
	P3	T1	0,0322	57,647
		T2	0,0334	34,183
		T3	0,0422	138,323
		T4	0,0296	50,159
		T5	0,0305	24,272

Letras distintas indican diferencias estadísticas entre promedios. Prueba Student Newman Keuls (SNK) al 5%. S1: (Tierra más arena); S2: (Aserrín). P1: (Claridad); P2 (La Suecia); P3 (San José). T1: (Escarificación mecánica); T2: (Escarificación mecánica más estimulante); T3: (Escarificación mecánica más ácido indolacético); T4: (Escarificación mecánica más ácido giberélico); T5: (Testigo).