

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**Regeneración de especies forestales amenazadas y su propagación ex situ,
Península de Osa, Costa Rica**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado como requisito para optar al grado de *MAGISTER SCIENTIAE* en Manejo y
Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad**

Luana Vanessa de Souza

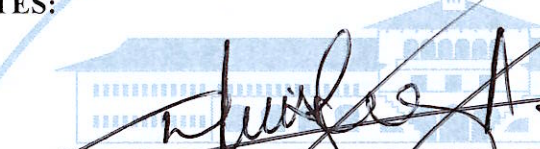
Turrialba, Costa Rica

2023

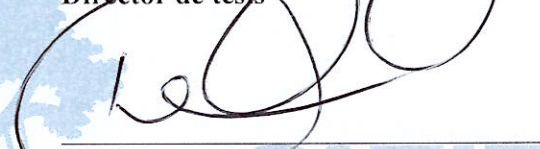
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero de la estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE BOSQUES
Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:



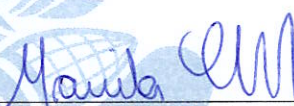
Luis Diego Jiménez Alvarado, M.Sc.
Director de tesis



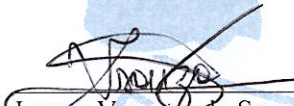
Luis Diego Delgado Rodríguez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Fátima Piña-Rodríguez, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



Mariela Leandro Muñoz, Ph.D.
Decana, a.i., Escuela de Posgrado



Luana Vanessa de Souza
Candidata

Dedicatoria

A mi amada familia, cuyo amor incondicional de Luiz, Antonia y mi hermana Pamela, ha sido mi constante apoyo. Los llevo en mi corazón con profundo cariño.

A todos los incansables restauradores, que afrontan desafíos cada día en nuestra labor. Su dedicación y esfuerzo son la fuente de inspiración constante.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero reconocimiento a los líderes inspiradores de esta iniciativa, los Profesores Róger Villalobos y Fernando Carrera, en conjunto con mis apreciados colegas brasileños Bruna Amante y Max Yamaguchi, que me guiaron durante mi pasantía para la oportunidad la cual pude realizar gracias al proyecto RestaurAcción. Por este incentivo y apoyo seré eternamente grata.

A los estimados profesores, mi director de tesis, Luis Diego Jiménez y miembros del comité, Diego Delgado y Fátima Piña-Rodrigues, por su valiosa colaboración y enseñanzas enriquecedoras que compartieron a lo largo del proyecto. Me siento honrada por la confianza que depositaron en mi trabajo.

Mi reconocimiento se extiende igualmente al conjunto de colaboradores del Banco de Semillas Forestales de CATIE, cuya compañía en los viajes y en el laboratorio de semillas promovieron conversaciones invaluable, siempre llenos de alegría y buena vibra.

Al equipo de Osa Conservation, cuyo compromiso y dedicación incansable hacia la restauración de un bioma tan especial son inspiradores.

Deseo hacer llegar mis agradecimientos a mis colegas de promoción por los momentos compartidos y también a mi compañero, Daniel, quien me brindó inmenso apoyo con todo lo que surgió por el camino.

Por último, a todo el personal del departamento de Posgrado, quienes no solo me recibieron con su simpatía, sino que también me transmitieron el auténtico significado “Pura Vida”, a través de su amabilidad constante.

Sumario

1.	Introducción	1
2.	Objetivo.....	2
2.1.	Objetivo general	2
2.2.	Objetivo específico	2
3.	Metodología.....	2
3.1.	Descripción del área de estudio.....	2
3.2.	Especies amenazadas seleccionadas	3
3.2.1.	<i>Couratarii scottmori</i> Prance	4
3.2.2.	<i>Caryocar costarricense</i> J. D. Sm	5
3.2.1.	<i>Paramachaerium gruberi</i> Brizicky	6
3.3.	Análisis de regeneración.....	9
3.3.1.	Diseño de muestreo.....	9
3.3.2.	Variables analizadas.....	10
3.4.	Análisis morfo-fisiológico y germinación	12
3.4.1.	Pruebas de germinación	13
4.	Resultados y Discusión	14
4.1.	Caracterización de la regeneración	14
4.2.	Análisis morfo-fisiológico de semillas.....	20
4.2.1.	<i>Couratarii scottmori</i>	21
4.2.2.	<i>Paramachaerium gruberi</i>	28
5.	Conclusiones.....	33
6.	Revisión Bibliográfica.....	34

Índice de Figuras

Figura 1. Área del estudio de las parcelas de las especies amenazadas, Área de Conservación Osa - ACOSA, Costa Rica, 2023.	3
Figura 2. Características principales de <i>C. scottmori</i> . A - raíces tabulares; B - cáscaras del tronco; C - formato del fuste; D - fruto de <i>C. scottmori</i> ; E - Frutos en el suelo. (fotos: Leonardo A. Salazar, 2023)	5
Figura 3. Características de <i>C. costarricense</i> . A – formato del fuste; B – característica del tronco; C – frutos carnosos inmaduros D – plántula y hojas trifoliadas. (fotos: Luana V. Souza, 2023)	6
Figura 4. Características de <i>P. gruberi</i> . A – fuste; B – raíces tabulares; C – hojas compuestas D – frutos sámara. (Fotos: Leonardo A. Salazar y Luana V. Souza, 2023)	7
Figura 5. A – Parcela principal para el censo de regeneración de las especies. B – Subparcela de 20 x 10 m análisis de las variables de interés. C – Metodología de evaluación de la clase de regeneración ‘plántulas’ de <i>C. scottmori</i>	10
Figura 6. Ilustración de los tipos de copas, tomado de (Serrano et al. 2018).....	11
Figura 7. A y B – Histograma de la frecuencia relativa de fustales de <i>Caryocar costarricense</i> indicando el punto medio de altura y dap en cm. C y D – Grafico de barras de la frecuencia relativa de fustales en las diferentes clases de luminosidad y estructura de copa.....	15
Figura 8. Plántulas de <i>Caryocar costarricense</i> muestreadas en los transectos de la Estación Piro - Osa Conservation, Costa Rica, 2023. (foto: Luana V. Souza, 2023)	16
Figura 9. Matrices de <i>Caryocar costarricense</i> , Estación Piro - Osa Conservation, Costa Rica, 2023	16
Figura 10. A – Histograma de frecuencia de individuos de <i>C. scottmori</i> por clase de regeneración indicando en el eje x el punto medio de altura (cm) de los individuos.	17
Figura 11. A y B – Histograma de frecuencia relativa de fustales de <i>Paramachaerium gruberi</i> , indicado en el eje x el punto medio de altura y dap (cm). C y D – Grafico de barras de la frecuencia relativa de fustales por clase de luminosidad y estructura de copa	18
Figura 12. Gráfico Bi-plot por análisis de correspondencia de clases de regeneración asociadas a las distancias del árbol semillero de la parcela.....	20
Figura 13. Diagrama de cajas (boxplot), con valores de máximo, mínimo, primer y tercer cuartil con la marca central en el box indicando el promedio; el marcador central comprende la mediana del peso de semillas de <i>Couratarii scottmori</i> , Los Planes de Osa, 2023.	22
Figura 14. Distribución de frecuencia de semillas por clase de peso en gramos de la especie <i>C. scottmori</i>	23
Figura 15. Metodología de análisis de biometría para semillas de <i>C. scottmori</i> , CATIE, 2023.	23
Figura 16. Embrión de <i>Couratarii scottmori</i> . (A) r: radícula; tv: tejido vascular. (B) cf: cotiledones foliáceos.....	24
Figura 17. Experimento de <i>C. scottmori</i> en cámara de germinación en el Banco de Semillas Forestales, CATIE, 2023.....	25
Figura 18. Curvas de velocidad de germinación para los tratamientos pregerminativos de la especie <i>Couratarii scottmori</i> , 2023	25
Figura 19. Plántulas sin clorofila en experimentos de germinación de <i>Couratarii scottmori</i> , BSF, 2023.....	27
Figura 20. Plántulas de <i>Couratarii scottmori</i> sin clorofila, Los Planes, Península de Osa, Costa Rica, 2023 (foto: Leonardo A. Salazar y Maria José M. Quirós, 2023)	27

Figura 21. Fruto de <i>Paramachaerium gruberi</i> tipo sámara (A), cinco cámaras seminíferas (B) y presencia de semilla seca en su interior (C)	29
Figura 22. A - Semillas extraídas de frutos de <i>Paramachaerium gruberi</i> . Con aspecto seco y aparentemente inviables. B – Semillas después de media hora emergidas en agua y turgentes, aparentemente viables.	29
Figura 23. Embrión de <i>Paramachaerium gruberi</i> . R: radícula; TV: tejido vascular. EPI: episperma.....	30
Figura 24. Diagrama de cajas (boxplot), presentando los valores de máximo, mínimo, primer y tercer cuartil con la marca central en el box indicando el promedio; el marcador central comprende la mediana del peso de frutos de <i>Paramachaerium gruberi</i> , Fila Carbonera, Península de Osa, 2023.....	30
Figura 25. Distribución de frecuencia de semillas por clase de peso en gramos de la especie <i>P. gruberi</i>	31
Figura 26. Presencia de patógenos fúngicos a los 15 días de inicio de la prueba de germinación con frutos de <i>Paramachaerium gruberi</i> , BSF, CATIE, 2023.....	32
Figura 27. A – germinación de <i>Paramachaerium gruberi</i> a los 35 días de la prueba. B – plántula a los 60 días de la prueba de germinación, BSF, Costa Rica, 2023	33

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Principales características ecológicas y fisiológicas de las especies <i>C. costarricense</i> , <i>C. scottmori</i> y <i>P. gruberi</i> , 2023	8
Cuadro 2. Número de parcelas y subparcelas realizadas para cada especie en el corredor biológico Osa, 2023	9
Cuadro 3. Índice de definición de luminosidad de los individuos	11
Cuadro 4. Índice de definición para las copas de los árboles (tomado de Dawkins 1958 y adaptado por Sánchez 2013).....	12
Cuadro 5. Tratamientos pregerminativos realizados con las especies <i>P. gruberi</i> y <i>C. scottmori</i> , CATIE, 2023	13
Cuadro 6. Abundancia de individuos de todas las clases de regeneración observadas. N = número de individuos observados; DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación	14
Cuadro 7. Frecuencia relativa de individuos por clase de regeneración y especie.	15
Cuadro 8. Resumen de promedios, mínimo, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación para cada clase de regeneración de las tres especies amenazadas.....	18
Cuadro 9. Datos de semillas de <i>C. scottmori</i> de árboles semilleros de los Planes de Osa, 2023.	21
Cuadro 10. Medidas de posición y dispersión, para el peso de 200 semillas recolectadas de <i>Couratarii scottmori</i> , utilizando la estadística descriptiva. Península de Osa, 2023	22
Cuadro 11. Caracterización morfométrica de 200 semillas de <i>C. scottmori</i> de dos árboles semilleros ubicados en Los Planes, Península de Osa, 2023	23
Cuadro 12. Resultados estadísticos sobre porcentaje de germinación (%G), tiempo promedio de germinación (TPM), promedio de altura de plántulas (PAP), promedio de raíces de plántulas (PRP), con comparación entre tratamientos pregerminativos realizados.	26
Cuadro 13. Características generales de frutos de <i>P. gruberi</i> recolectados en el mes de febrero, Matapalo, Península de Osa, 2023	28
Cuadro 14. Porcentaje de número de semillas extraídas de 50 frutos de <i>Paramachaerium gruberi</i> , Península de Osa, 2023.....	28
Cuadro 15. Medidas de posición y dispersión de 250 frutos de un grupo de matrices de <i>Paramachaerium gruberi</i> , utilizando la estadística descriptiva, Península de Osa, 2023.	31

Lista de Acrónimos

ACOSA.....	Área de Conservación de la Península de OSA.
AOSA.....	Association of Official Seed Analyst
BSF.....	Banco de Semillas Forestales
CATIE.....	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
ISTA.....	International Seed Testing Association
MINAE.....	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
MSBP.....	Millennium Seed Bank Partnership
RGB.....	Royal Botanic Garden
SINAC.....	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
UICN.....	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

Resumen

La propagación *ex situ* de especies forestales amenazadas en Costa Rica, se ve dificultada por la escasez de conocimiento sobre ellas. Se realizó un estudio observacional y exploratorio sobre la regeneración y la morfofisiología de frutos y semillas de las especies *Couratarii scottmori*, *Caryocar costarricense* y *Paramachaerium gruberi* en tres sitios de la Península de Osa. Se clasificaron los individuos de regeneración en: plántulas, brinzales, latizales y fustales y se midieron las variables altura, dap, luminosidad y estructura de copa de cada individuo. A partir de las normas ISTA se adaptaron los análisis de frutos y semillas para las especies *C. scottmori* y *P. gruberi* y se realizaron 5 tratamientos pre germinativos: 1– sin tratamiento; 2– inmersión en agua ambiente por 12 horas; 3– inmersión en agua caliente; 4– inmersión por 24 horas en solución de giberelina (1000 mg. L-1); 5– inmersión por 24 horas en solución de giberelina (3000 mg. L-1). La regeneración de *C. costarricense* y *C. scottmori* presentó frecuencias de plántulas de 35 % y 66 %, respectivamente. *P. gruberi* presentó menos de 1% de plántulas y brinzales, sin embargo, los fustales y latizales representaron 55 y 38%. Resultó estadísticamente significativa la asociación entre individuos de la clase plántulas con la distancia entre 10 – 20 m del árbol semillero en parcelas de *C. costarricense* ($P_{\text{valor}} = 0,0135$) y *C. scottmori* presentó plántulas hasta 70 m del árbol semillero ($P_{\text{valor}} < 0,001$). Se observó en *P. gruberi* semillas sensibles a la desecación con apenas una semilla germinada. El tratamiento 5 presentó efectos negativos con menor porcentaje de germinación para *C. scottmori* ($P_{\text{valor}} < 0,001$), que tiene semillas ausentes de dormancia física/química, con tegumento sensible a altas temperaturas.

Palabras clave: especies amenazadas; propagación *ex situ*; Península de Osa.

Abstract

The *ex-situ* propagation of threatened forest species in Costa Rica is hindered by the lack of knowledge about them. An observational and exploratory study was analyzed on the regeneration and morpho physiology of fruits and seeds of the species *Couratarii scottmori*, *Caryocar costarricense* and *Paramachaerium gruberi* in three sites of the Osa Peninsula. The regeneration individuals were classified into seedlings, samplings, latizales and stems and the height, dbh, luminosity and crown structure of each individual was measured. Based on the ISTA standards, the analysis of fruits and seeds were adapted for *C. scottmori* and *P. gruberi* and 5 pre-germination treatments were carried out: 1 – no treatment; 2 – immersion in ambient water for 12 hours; 3 – immersion in hot water; 4 – immersion for 24 hours in gibberellin solution (1000 mg. L-1); 5 – immersion for 24 hours in gibberellin solution (3000 mg. L-1). In situ regeneration of *C. costarricense* and *C. scottmori* presented high frequencies of seedlings, 35 % and 66 %, respectively. *P. gruberi* presented less than 1 % of seedlings and saplings, however, stems and latizals represented 55 and 38 %. The association between individuals of the seedling class between 10 – 20 m away from the seed tree in plots of *C. costarricense* was found to be statistically significant ($P_{\text{value}} = 0.0135$) and *C. scottmori* had seedlings up to 70 m away from the seed tree ($P_{\text{value}} < 0.001$). Seeds sensitive to desiccation were observed in *P. gruberi* with only one seed germinated. Treatment 5 presented negative effects with a lower germination percentage for *C. scottmori* ($P_{\text{value}} < 0.001$), which has seeds lacking physical/chemical dormancy, with integument sensitive to high temperatures.

Keywords: endangered species; *ex situ* propagation; Osa Peninsula.

Introducción

La restauración ecológica mediante el uso de especies nativas enfrenta el desafío de obtener suficientes semillas viables en la cantidad requerida para la propagación de plántulas resistentes (Ley-López et al. 2023). En especial, las especies forestales tropicales clasificadas como amenazadas por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), presentan bajo número de poblaciones y fuentes semilleras, generalmente de difícil acceso en los bosques tropicales húmedos (Breman et al. 2021, Cochrane et al. 2007).

En Costa Rica, la Península de Osa alberga una cantidad considerable de especies forestales tropicales amenazadas y se considera una reserva de gran importancia mundial (Rosero Bixby et al. 2002). Esta área se caracteriza por su alta fragilidad en términos de conservación. Sin embargo, la explotación maderera sin planificación en el siglo XX provocó daños en el suelo, la biodiversidad, el recurso hídrico y las cuencas hidrográficas (Jiménez 2015).

Como medidas de conservación *in situ*, Costa Rica ha desarrollado metodologías y planes de restauración para recuperar parte de la biodiversidad original (Cubiña y Aide 2001). El Decreto Ejecutivo de veda n° 23700-MINAE de enero de 1997, marcó el inicio de la recuperación de la cobertura vegetal, estableciendo principios y mecanismos para el aprovechamiento forestal sostenible, prohibiendo el uso de 18 especies forestales (SINAC 2020). Al mismo tiempo, se experimentó una disminución de las actividades del sector primario como la ganadería (Morales 2010, Aguilar-Arias et al. 2012), se prohibió el cambio de uso del suelo de bosques primarios y secundarios, y se implementaron políticas para pagos por servicios ambientales y el uso de especies con un plan de manejo predeterminado aprobado por organizaciones locales (SINAC 2020).

Sin embargo, la propagación *ex situ* de especies amenazadas se ve actualmente obstaculizada, dado que obtener datos relacionados a estas especies representa un desafío para bancos de semillas o jardines botánicos. Es esencial llevar a cabo una recolección constante a fin de garantizar la disponibilidad de muestras de tamaño suficiente para futuras necesidades de recuperación (Ley-López et al. 2023, Breman et al. 2021, Cochrane et al. 2007).

Dentro de las limitaciones que afectan el tamaño de colecciones conservadas en todo el mundo se incluyen: la falta de recursos o financiamiento para obtener el conocimiento a nivel de especies, el difícil acceso a suficientes cantidades de semillas, la baja variabilidad genética, la dificultad para acceder a árboles semilleros y la incertidumbre sobre la sensibilidad a la desecación de los propágulos (Abeli et al. 2020, Cochrane et al. 2007, Ley-López et al. 2023). Además, los análisis para desarrollar estrategias de conservación han pasado por alto la abundancia y distribución y el estado de conservación *ex situ* de estas especies (Ley-López et al. 2023).

Actualmente, se considera como estrategias de regeneración las propiedades de la especie, tales como: regularidad de fructificación, período de dispersión de propágulos (seco/lluvioso), medios de dispersión de propágulos, biometría de frutos y/o semillas, presencia de latencia, tolerancia al desecamiento y viabilidad de semillas en campo (Ferraz et al. 2004, Pritchard et al. 2004, Moraes et al. 2020). Pritchard et al. (2004) señala que una especie con una estrategia de regeneración sensible a la desecación asume un alto riesgo de pérdida y muerte de sus propágulos, una vez expuesta a un

periodo de seca muy largo. Mientras tanto, en esa misma especie, esa característica puede llevar a una rápida germinación y formación de un banco de plántulas en el momento propicio de dispersión, reduciendo así la ventana de oportunidad para los predadores de las semillas (Curran y Webb 2000).

Por esta razón, investigaciones que ayudan a comprender la dinámica ecológica a largo plazo (Vargas-Figueroa y Torres-González 2018) garantizan metodologías efectivas de restauración, las cuales actualmente son insuficientes para especies en peligro de extinción o amenazadas en bosques tropicales húmedos (Chau et al. 2019).

De acuerdo con las dificultades encontradas en este tema, el objetivo de este estudio es caracterizar la regeneración de tres especies forestales: *Caryocar costarricense*, *Couratarii scottmori*, *Paramachaerium gruberi*, clasificadas en riesgo de extinción en la Península de Osa, analizando la regeneración y morfofisiología de sus frutos y semillas.

Objetivo

Objetivo general

Caracterizar la regeneración de tres especies forestales clasificadas en riesgo de extinción en la Península de Osa, analizando la regeneración y morfofisiología de sus frutos y semillas.

Objetivo específico

- OE1 Contribuir al conocimiento sobre la regeneración de las especies *Caryocar costarricense*, *Couratarii scottmori* y *Paramachaerium gruberi* en tres regiones de la Península de Osa.
- OE2 Relacionar las características morfo-fisiológicas de las semillas con la regeneración observadas de las especies.
- OE3 Determinar el efecto del pretratamiento de germinación en el porcentaje de germinación y emergencia de plántulas aptas para propagación *ex situ*.

Metodología

Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra en la Península de Osa en Costa Rica, que forma parte del Área de Conservación Osa (figura 1). ACOSA es extremadamente rica en biodiversidad terrestre y marina, con especies endémicas y en peligro de extinción, como grandes felinos (jaguar y puma) y aves propias del país. Debido a su posición geográfica, constituye un puente natural entre especies del norte y sur del continente americano, y es considerado un importante reservorio genético de especies de flora y fauna (Kappelle 2002).

Según la clasificación de Holdridge (1971), Costa Rica se divide en 12 zonas de vida o formaciones vegetales, distribuidas en los pisos altitudinales basal, premontano, montano bajo, montano y subalpino. En la Península de Osa, el tipo de zona de vida predominante es el bosque muy húmedo-tropical (bmh-T), que abarca aproximadamente 50% de la

península, seguido por el bosque muy húmedo-premontano transición a basal (bmh-PM-Tb) (Rosero-Bixby et al. 2002). Estas áreas son consideradas las últimas zonas con características muy húmedas que aún subsisten en el lado Pacífico de América Central, y están presentes en áreas protegidas (Hartshorn 1984).

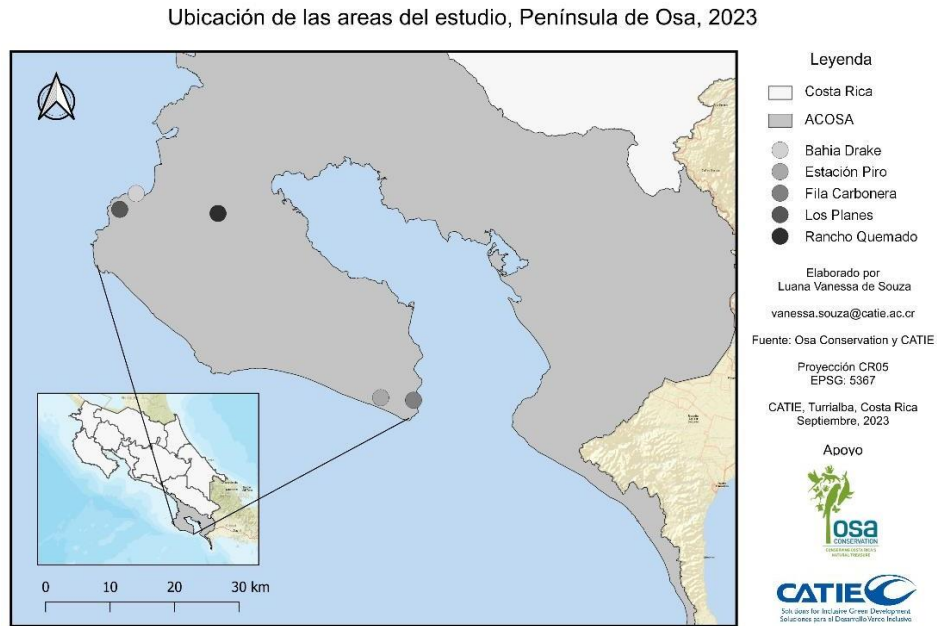


Figura 1. Área del estudio de las parcelas de las especies amenazadas, Área de Conservación Osa - ACOSA, Costa Rica, 2023.

Esta región fue declarada área protegida en 1975, inicialmente abarcando la reserva forestal Golfo Dulce en 1978 y la reserva indígena Guaymí en 1981 (SINAC 2020). Su importancia radica en su ubicación dentro de la cuenca hidrográfica de la península de Osa que cubre un área de 1971 km². Presenta una estación seca muy determinada dentro del Parque Nacional Corcovado en los meses de enero a marzo y los meses más lluviosos ocurren entre septiembre y octubre (Kappelle 2016). Con temperatura promedio de 27° C y una altitud máxima de 780 msnm (Quesada 2007), la región experimenta una precipitación mayor en la faja costera, donde se registran anualmente promedios que van de 3450 mm a más de 5000 mm (IMN 2013).

Las fases del trabajo comprendieron la selección de especies de interés, análisis de la densidad de las poblaciones para determinación de las parcelas de estudio, análisis de regeneración de las especies y el análisis fisiológico de los frutos y semillas colectados.

Especies amenazadas seleccionadas

La investigación se llevó a cabo en conjunto con la organización no gubernamental, *Osa Conservation*, ubicada al sur de la península, con el proyecto '*Conserving the Rare and Endemic Trees of the Amistosa region, Southern-Pacific Costa Rica*'. Con inicio en 2019, este proyecto realizó 7 expediciones en la Península de Osa, ubicando 18 especies consideradas en peligro de extinción por la lista roja de especies de la UICN.

Estas expediciones tomaron los siguientes criterios para el mapeo de los individuos:

1. Identificación del hábitat natural de las especies a partir de colectas botánicas cercanas;
2. Elección de áreas remotas, principalmente de difícil acceso turístico y con menor cantidad de investigaciones;
3. Consideración de la distancia geográfica de los bosques seleccionados para mayor cobertura de área;
4. Ubicación de las parcelas considerando la topografía y características del bosque.

A partir de la base de datos de *Osa Conservation*, para los objetivos de esta investigación se escogieron tres especies amenazadas, considerando el potencial para producción de semillas durante los periodos de enero hasta marzo. Fueron seleccionadas las especies: *Couratari scottmorii* Prance, *Caryocar costarricense* J.D.Sm. y *Paramachaerium gruberi* Brizicky.

Couratarii scottmori Prance

La especie *Couratarii scottmori* perteneciente a la familia Lecythidaceae, conocida localmente como "copo hediondo", se encuentra catalogada como "especie en peligro de extinción" en la lista roja de plantas amenazadas y poco comunes de Costa Rica (UICN 2020). Su importancia social, ambiental y económica llevó a la implementación de medidas de protección mediante el Decreto Ejecutivo de Veda de enero de 1997 (MINAE 1997). A nivel mundial, esta especie se encuentra distribuida únicamente en Costa Rica y Panamá, con su población concentrada en la ecorregión del Pacífico Sur de Costa Rica (Estrada et al. 2005).

Los estudios sobre la autoecología de *C. scottmorii* siguen siendo un desafío debido a la escasez y dispersión de individuos. No obstante, a nivel de género, se ha observado que estos individuos presentan un patrón de floración subanual, en el cual la floración y fructificación ocurren de manera irregular y a intervalos variables (Newstrom et al. 1994, Lobo et al. 2007). Cabe destacar que su polinización está relacionada con abejas del grupo Euglossine, que se han identificado como polinizadores especializados (Lepsch-Cunha y Mori 1999).

Investigaciones anteriores sobre el género han revelado aspectos funcionales significativos, como la densidad de la madera, el diámetro del tronco y la altura de los árboles, que son atributos relevantes para el comercio de madera de alta calidad en la mayoría de las especies de este género (Procopio 2010) (figura 2).

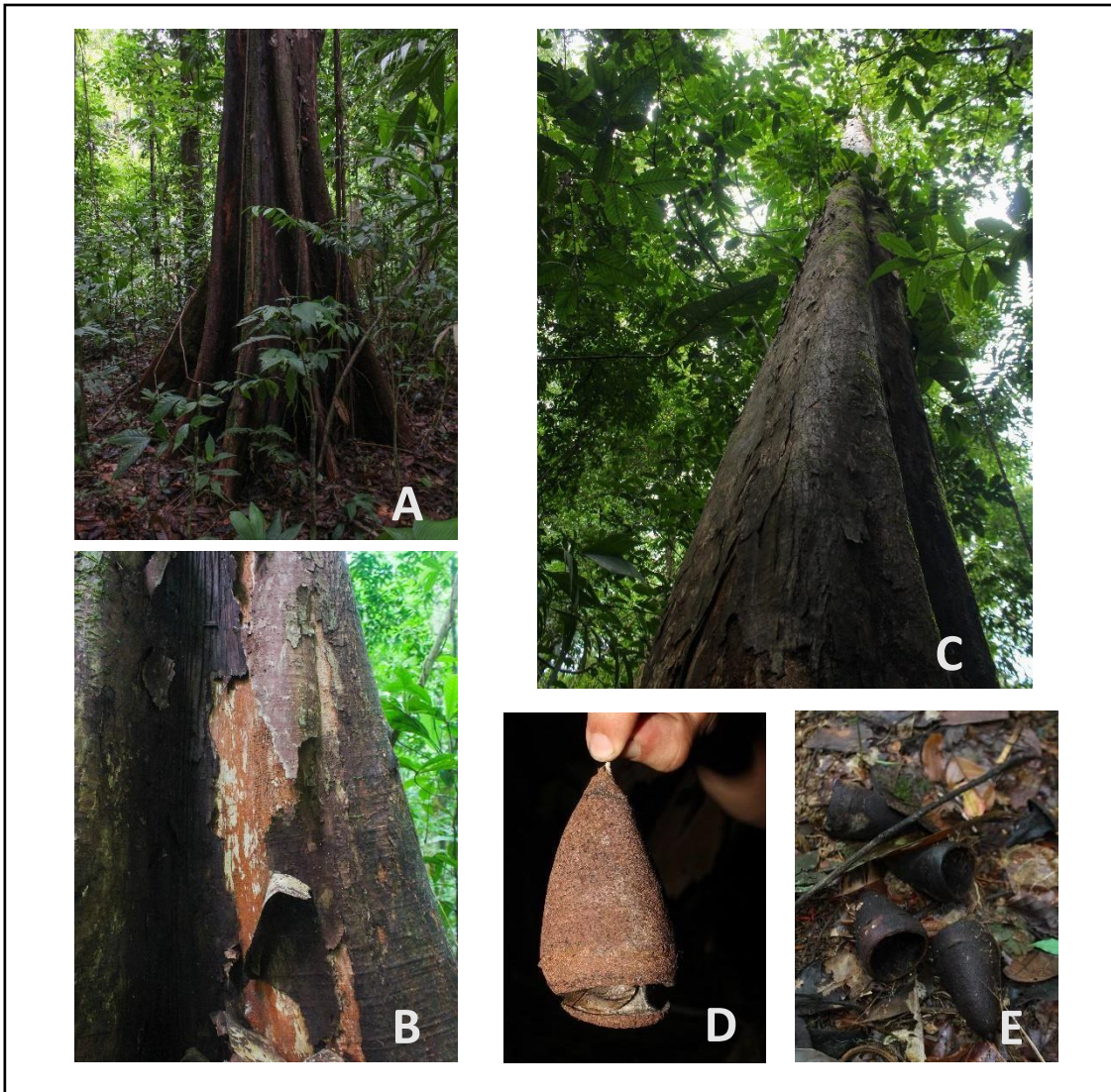


Figura 2. Características principales de *C. scottmori*. A - raíces tabulares; B - cáscaras del tronco; C - formato del fuste; D - fruto de *C. scottmori*; E - Frutos en el suelo. (Fotos: Leonardo A. Salazar, 2023)

Caryocar costarricense J. D. Sm.

El *C. costarricense*, también conocido localmente como “Ajo amarillo” o “Ajo”, es un árbol de gran antigüedad, con algunos individuos estimados en más de 300 años. Si bien, los individuos de esta especie se distribuyen por toda la reserva forestal, se observan poblaciones de mayor tamaño y concentración en la parte sur de la península. Los principales polinizadores de *C. costarricense* son los murciélagos, ya que las flores tienen la peculiaridad de abrir durante la noche (fototropismo nocturno). El fruto de esta especie protege la semilla con un grueso endocarpio, lo que lo hace atractivo para animales e insectos, promoviendo así su dispersión y contribuyendo a su éxito reproductivo. En contrapartida, no se ha observado un dispersor natural evidente para esta especie, aunque los frutos sean carnosos y capten la atención de aves y monos, que se sienten atraídos por los frutos cuando aún están verdes e inmaduros (Solís et al. 2009, Lobo et al. 2008).

Alcanzando alturas de hasta 50 metros y un diámetro a la altura del pecho (dap) de aproximadamente 4 metros, este árbol se destaca por su robustez y majestuosidad (Prance 2010). Su madera posee una durabilidad excepcional y, cuando expuesta al agua, puede perdurar hasta 10 años sin deteriorarse. Además, el perceptible aroma desde el suelo bajo su copa durante la época de floración proviene de sus flores que emanan un fuerte olor similar al ajo (Alvarado 2014). Una característica distintiva para su identificación en campo son sus hojas opuestas y compuestas por 3 folíolos: dos folíolos laterales y uno terminal (figura 3 D).

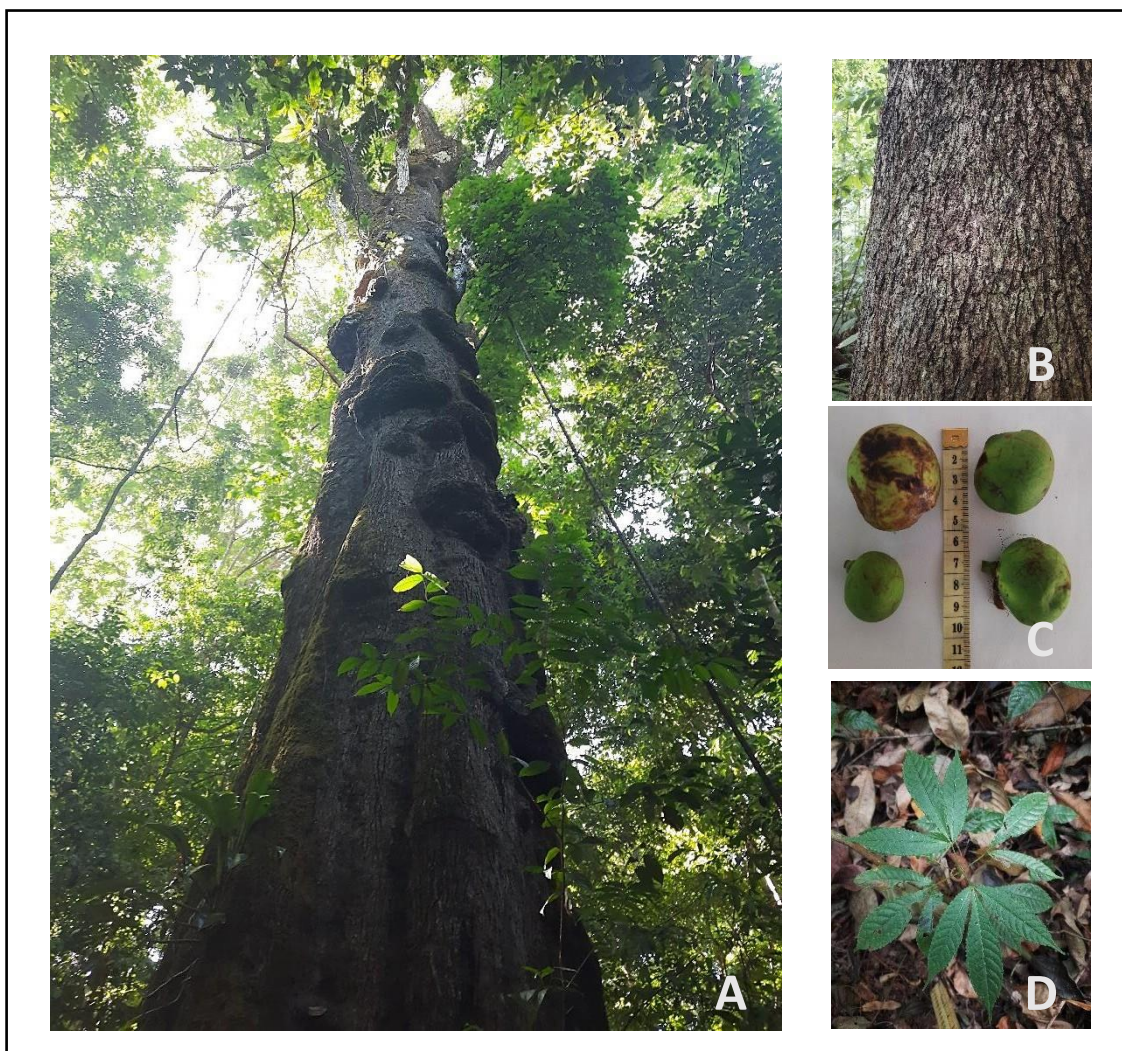


Figura 3. Características de *C. costarricense*. A – formato del fuste; B – característica del tronco; C – frutos carnosos inmaduros D – plántula y hojas trifoliadas. (Fotos: Luana V. Souza, 2023).

1.1.1. *Paramachaerium gruberi* Brizicky

El árbol *Paramachaerium gruberi* de la familia Fabaceae fue originalmente reportado solo en Panamá en Chiriquí, Puerto Armuelles (Vargas 1992). No obstante, en Costa Rica se documentó por primera vez en 1988 y hasta la fecha se ha identificado una población

concentrada en la Fila Carbonera, en el extremo sur de la Península de Osa, específicamente dentro de la Reserva Forestal Golfo Dulce (INBio 1999).

Esta especie, conocida localmente como “Sangrillo colorado” en Costa Rica y “Sangrillo negro” en Panamá, ha sido objeto de una intensa explotación forestal, debido a la alta demanda de su valiosa madera, apreciada por su textura fina y resistencia excepcional a plagas y enfermedades (Vargas 2002) (figura 4). Su categoría de conservación es de “especie en peligro crítico de extinción” debido a su distribución sumamente restringida y alto índice de explotación (UICN 2020).

La propagación de *P. gruberi* ocurre de manera restringida a regiones donde se concentran varios individuos, posiblemente debido al peso de sus semillas y tipo de dispersión, principalmente causada por el viento, y que alcanzan no más de 100 metros del árbol madre (Vargas 1992). En la actualidad, los pocos árboles remanentes se encuentran en áreas reducidas, formando grupos aislados en el paisaje. Dadas las condiciones de aislamiento y el pequeño tamaño de la población, se estima que la variación genética puede ser baja (Corea-Arias et al. 2016).

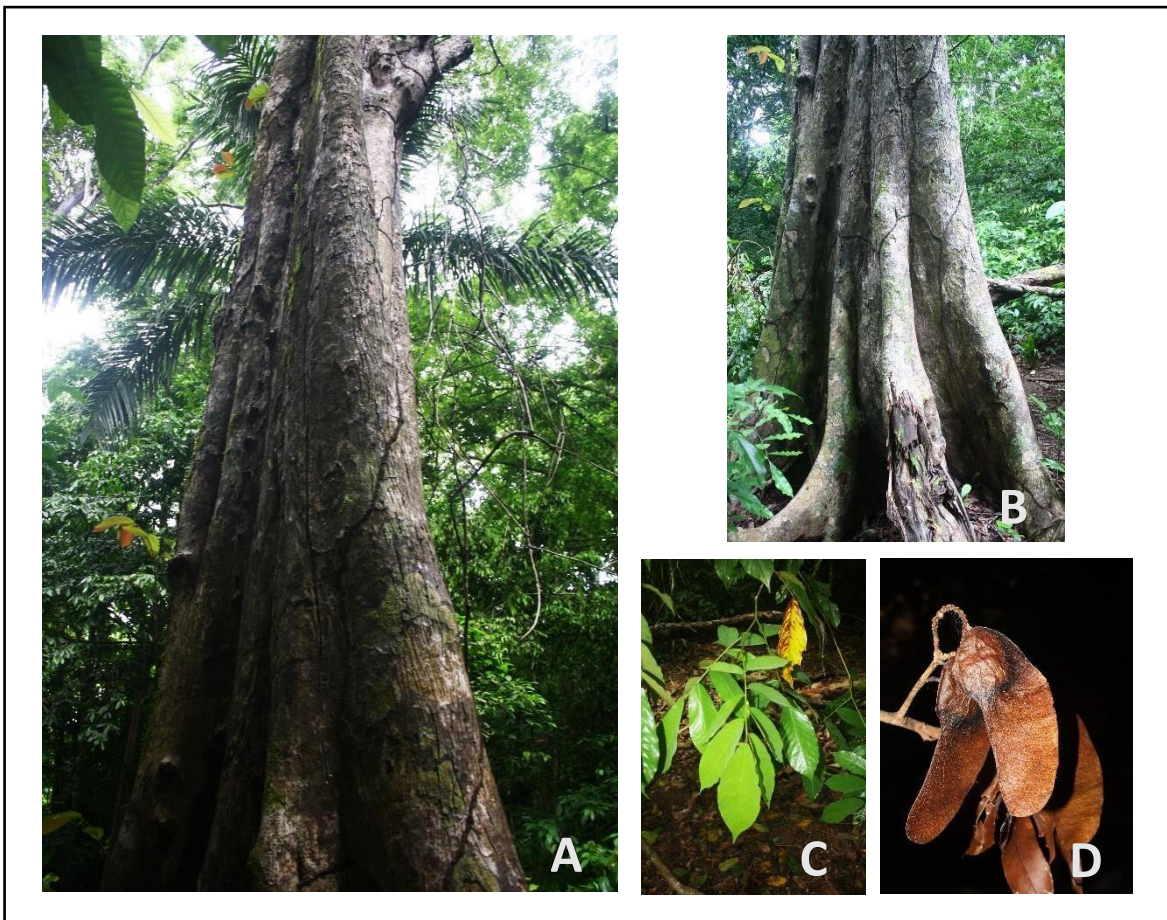


Figura 4. Características de *P. gruberi*. A – fuste; B – raíces tabulares; C – hojas compuestas D – frutos sámara. (Fotos: Leonardo A. Salazar y Luana V. Souza, 2023).

El conocimiento sobre la germinación de las semillas de esta especie es escaso. Estas tienen una breve viabilidad y pueden germinar dentro del fruto que tiene característica indehiscente y una vez presentes en condiciones óptimas de luz y humedad no presentan

latencia para germinación (Vargas 1992). Aparentemente, estos frutos no atraen a animales específicos como polinizadores o dispersores (Corea-Arias et al. 2016), lo que resalta la necesidad de realizar más investigaciones sobre sus rasgos funcionales y sus principales polinizadores para conservación genética y manejo adecuado de la especie. Estas investigaciones son fundamentales considerando su distribución limitada, su valor ecológico y el impacto que la explotación forestal tiene en su población.

Cuadro 1. Principales características ecológicas y fisiológicas de las especies *C. costarricense*, *C. scottmori* y *P. gruberi*, 2023.

Especie	<i>Courataria scottmori</i>	<i>Caryocar costarricense</i>	<i>Paramachaerium gruberi</i>
Nombre común	Copo hediondo; Cachimbo	Ajo Amarillo; Ajo	Sangrillo Colorado
Familia	Lecythidaceae	Caryocaraceae	Fabaceae
Gremio ecológico	Comportamiento esciófito	Heliófito durable	Heliófito durable
Principal polinizador	Abejas (genero euglossine)	Murciélagos	Desconocido
Época de floración	Jan-Feb / Jun-Oct	Jan-Feb	Oct-Nov
Patrón fenológico	Subanual	Anual	Anual
Reproducción	Hermafrodita	Hermafrodita	Hermafrodita
Época de fructificación	Dic-Ene / Mar-Abr	Mar-May	Abr-May
Tipo de fruto	Seco Dehiscente tipo pixidio	Fruto carnoso	Seco Indehiscente tipo sámara
Dispersión de semillas	Anemocórica	Zocórica	Anemocórica
Tipo de semilla	Aladas, circundando el núcleo seminífero	Desconocido	Aladas, circundando el núcleo seminífero
Tipo de Embrión	Disposición Basal	Desconocido	Disposición Basal
Tipo de Germinación	Fanero-epigeo- foliáceas	Desconocido	Fanero-epigeo- foliáceas

Análisis de regeneración

Diseño de muestreo

El censo de regeneración natural de las especies de este estudio es de naturaleza exploratoria e inicial, con el objetivo de identificar las principales características que estas especies puedan presentar y proporcionar apoyo para futuras investigaciones. Una vez seleccionadas las especies, se determinaron los árboles semilleros de referencias en cada parcela según los criterios:

1. Producción de frutos/semillas en años anteriores.
2. dap de los árboles semilleros mayor o igual a 40cm.
3. Accesibilidad de las parcelas en el periodo del proyecto.

Debido al estado de peligro de extinción de la flora analizada y la accesibilidad durante el proyecto, las cantidades de parcelas fueron necesariamente bajas y diferentes para cada especie, datos detallados en el cuadro 2.

Cuadro 2. Número de parcelas y subparcelas realizadas para cada especie en el corredor biológico Osa, 2023.

Especie	Parcelas	Área total (ha)	Región
<i>Couratarii scottmori</i>	4	1,20	Los Planes; Rancho Quemado; Bahía Drake
<i>Caryocar costarricense</i>	6	0,80	Estación Piro - Osa Conservation
<i>Paramachaerium gruberi</i>	1	0,28	Matapalo

Característica de las parcelas

Ubicadas en bosques primarios de la región, cada parcela presentó características distintas en términos de acceso, topografía, cobertura vegetal y proximidad a otros árboles semilleros de la especie. Para la especie *C. costarricense* se definió parcelas dentro de la Estación Piro, área privada de la organización *Osa Conservation*.

La especie *C. scottmori* se llevó a cabo en tres diferentes sitios, a la orilla del río Agujitas en Bahía Drake y en propiedades privadas de Rancho Quemado y en Los Planes de Osa. Esta última siendo la región que concentra el mayor número de individuos de la especie.

En el caso particular de la especie *P. gruberi*, debido a la notable concentración de individuos a lo largo del curso del Río Quebrada Carbonera, se empleó la misma metodología descrita apenas en una limitada área de 140 m de largo por 20 m de ancho.

Estructura de las parcelas

Cada parcela principal se estableció con una extensión de 100 x 20 m, utilizando con un árbol semillero de la especie de interés como punto inicial de referencia (figura 5 A). Posteriormente, se subdividió en 10 subparcelas de 10 x 20 m para llevar a cabo un análisis detallado de las variables de interés (figura 5 B). Siguiendo el método 'distance sampling' (Jensen y Meilby 2012), tal como lo emplea *Osa Conservation*, la dirección

cardinal de las parcelas se determinó de manera aleatoria con referencia al árbol semillero seleccionado.

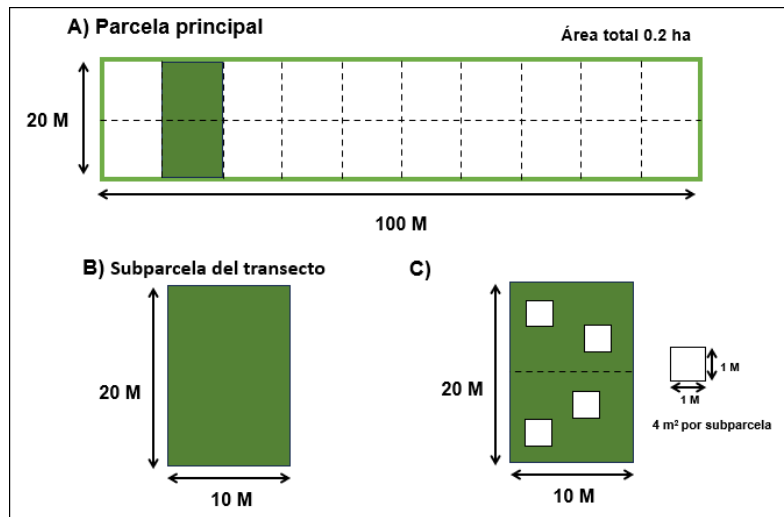


Figura 5. A– Parcela principal para el censo de regeneración de las especies. B– Subparcela de 20 x 10 m análisis de las variables de interés. C– Metodología de evaluación de la clase de regeneración ‘plántulas’ de *C. scottmori*.

Para la especie *Couratarii scottmori*, se seleccionó de forma aleatoria cuatro cuadrículas de 1 m² en cada subparcela con el propósito de evaluar la categoría de regeneración plántulas, sumando un total de 4m² por subparcela, totalizando 40m² cubiertos para esa clase de regeneración (figura 5 C).

Variables analizadas

Se procedió la medición de las siguientes variables:

1. Por parcela principal: porcentaje de cobertura del dosel, coordenadas geográficas de las subparcelas.
2. Por cada individuo muestreado: clase de regeneración, altura, luminosidad, estructura de la copa, dap y coordenadas geográficas.

Cada 10 metros de cada parcela principal se midió la cobertura del dosel, con uso de un densiómetro y se ejecutó en cada subparcela un censo de la regeneración natural de los individuos observados, separados en 4 (cuatro) clases distintas: (1) Plantulas, individuos con una altura inferior a 30 cm; (2) Brinzales, individuos con alturas entre 30 cm y 1 m; (3) Latizales, individuos con más de 1 m de altura y un diámetro a la altura del pecho (DAP) inferior a 10 cm y (4) fustales, todos los individuos con dap superior a 10 cm.

El equipo de reconocimiento contó con el apoyo de profesionales de la organización local, expertos en la identificación de las especies, entre otros funcionarios y voluntarios de *Osa Conservation* que agregaron conocimiento práctico en el campo del estudio.

La variable iluminación se clasificó para todos los individuos observados según el tipo de iluminación que recibe su copa en el bosque, utilizando la propuesta de (Clark y Clark 1992) donde se asignaron valores numéricos para describir el grado de iluminación (cuadro 3).

Cuadro 3. Índice de definición de luminosidad de los individuos

Índice	Definición
1	Copa no recibe luz directa
2	Copa con alguna luz lateral
3	Copa con alguna luz desde arriba (10-90% de la proyección vertical de la copa expuesta a la luz vertical).
4	Copa con luz completa desde arriba (90% de la proyección vertical de la copa expuesta a la luz vertical)
5	Copa completamente expuesta (a la luz vertical y a la luz lateral)

Para la estructura de la copa se utilizó la metodología propuesta por Dawkis (1958), en la cual se identifican cinco tipos de copa (cuadro 4) clasificados numéricamente con la ayuda visual de la figura 6. Esta metodología se aplicó exclusivamente a los fustales observados de las especies de interés.

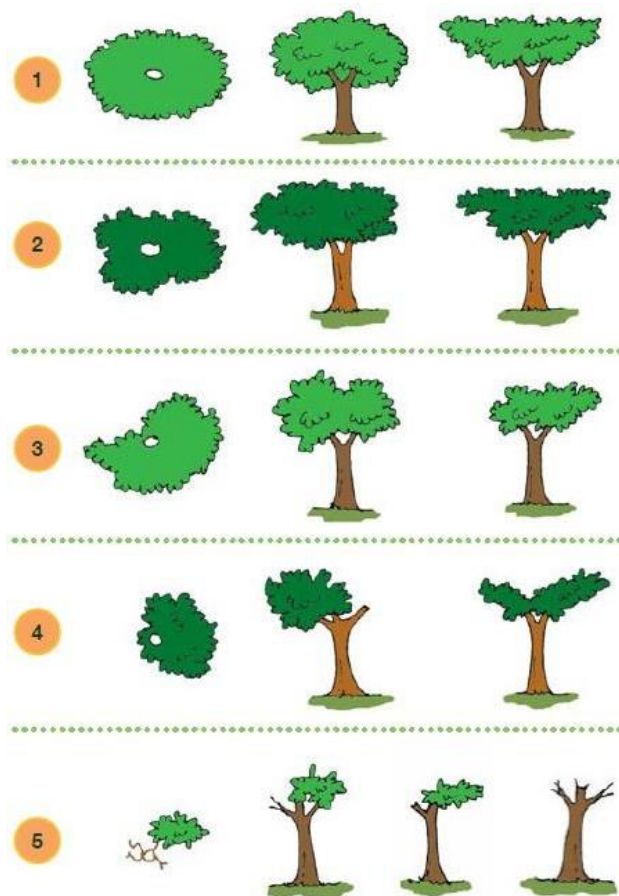


Figura 6. Ilustración de los tipos de copas. Tomado de Serrano et al. 2018.

Cuadro 4. Índice de definición para las copas de los árboles. Tomado de Dawkins 1958 y adaptado por Sánchez. 2013.

Índice	Definición
1	Copa perfecta, con una forma circular y simétrica.
2	Copa con buena forma, aunque puede tener un círculo irregular.
3	Copa claramente asimétrica y con una distribución escasa de ramas.
4	Copa pobre, fuertemente asimétrica y con pocas ramas principales.
5	Árbol sin copa o con una copa muy escasa, que cuenta con una o pocas ramas solamente.

La estadística descriptiva para análisis de datos sobre individuos de regeneración fue realizada con las herramientas Excel 365 y el programa Infostat v2020.

Análisis morfo-fisiológico y germinación

Los frutos y semillas de las especies *P. gruberi* y *C. scottmori* se enviaron al laboratorio del Banco de Semillas Forestales (BSF) de CATIE, en Turrialba, Costa Rica. Se adaptaron las normas internacionales del International Seed Testing Association (ISTA) para las especies de interés. Luego, se realizaron pruebas de germinación a fin de verificar la viabilidad de estas para propagación.

Debido a la ausencia de frutos maduros en los árboles semilleros de *C. costarricense* no se realizó análisis de los frutos o semillas durante el periodo de la investigación. Por lo tanto, el estudio sobre estrategias de regeneración para esta especie fue basado en los análisis de la literatura disponible.

Las variables morfofisiológicas evaluadas fueron: contenido de humedad, biometría de frutos y semillas, germinación y velocidad de la germinación. Las unidades reproductivas pasaron por un proceso de desinfección con NaOCl al 10% por 5 minutos (Alvarado-López et al. 2014). Luego, secados a la sombra y almacenados en una cámara de temperatura 15°C hasta la preparación de las pruebas durante 5 días.

- Contenido de humedad

El contenido de humedad de todos los lotes de semillas se determinó gravimétricamente antes y después de secado en una estufa a 103°C durante 17 h (ISTA 1999). Se realizaron al menos 4 repeticiones de aproximadamente 5g. El peso de las semillas después del secado al horno se utilizó como valor de la masa media de semillas secas. De acuerdo con la siguiente fórmula:

$$CH = ((PHM - PSM) / PHM) * 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad (%)

PHM = Peso de la submuestra en húmedo

PSM = Peso de la submuestra en seco

- Peso de mil semillas

Se pesaron 8 repeticiones de 10 semillas para *C. scottmori* y 10 frutos para *P. gruberi* debido a la baja disponibilidad de semillas/frutos de cada especie. Luego, se calculó el promedio del peso de las semillas y se determinó el número de semillas por kg, utilizando la siguiente fórmula:

$$PS = (NSM/PM) * 100$$

Donde:

PS= Peso de las semillas (semillas por kilogramo)

NSM= Número de semillas de la muestra

PM= Peso de la muestra

- Análisis Biométrico

Para la determinación de tamaño de los frutos/semillas, se utilizó un vernier digital (150 mm) en una muestra de 250 frutos de *P. gruberi* y 200 semillas de *C. scottmori*. En los frutos de *P. gruberi* se determinó el número de semillas/fruto. También se determinó el peso unitario de frutos/semillas con auxilio de una balanza analítica digital (0,01 g).

Pruebas de germinación

- Viabilidad previa de las semillas

Se cortaron con tijera para podar muestras de 5g de semillas de cada especie seleccionada aleatoriamente, y se analizó su interior con una lupa a fin de verificar la calidad, ataque por plagas o contaminación por patógenos. A partir de esto, se pudo evaluar el porcentaje de semillas macroscópicamente viables y separadas las cantidades para las pruebas de germinación.

- Pruebas de germinación

El experimento fue conducido probando diferentes tipos de tratamientos pregerminativos, los cuales son: (1) sin interferencia en la semilla (testigo), (2) con inmersión en agua a temperatura ambiente por 12 horas, (3) inmersión en agua caliente por 2 minutos y diferentes concentraciones del ácido giberelico (giberelina, GA3), a (4) [1000 mg. L⁻¹] y (5) [3000 mg. L⁻¹] (cuadro 5).

Cuadro 5. Tratamientos pregerminativos realizados con las especies *P. gruberi* y *C. scottmori*, CATIE, 2023.

#	Tratamiento pregerminativo
1	sin tratamiento (testigo)
2	inmersión en agua temperatura ambiente por 12 horas
3	inmersión en agua caliente (80°C) por 2 min
4	inmersión por 24 horas en solución de giberelina [1000 mg.L ⁻¹]
5	inmersión por 24 horas en solución de giberelina [3000 mg.L ⁻¹]

Para el experimento de germinación, se emplearon cajas plásticas transparentes y se utilizó arena lavada como sustrato de acuerdo con las normas de ISTA (1999), en una cámara de germinación con temperatura controlada a 28°C y fotoperiodo de 12 horas.

Resultando en un experimento de germinación con 5 tratamientos y 4 repeticiones para cada especie. La unidad experimental fue compuesta por 6 semillas de *C. scottmori* y 6 frutos para *P. gruberi* por repetición.

Con el objetivo de medir también el índice de velocidad de emergencia que ultrapasa los 30 días de análisis, las pruebas de germinación tuvieron duración de 60 días en cámara de germinación.

- Evaluación

Se evaluó para cada especie el porcentaje de germinación (%G) y el tiempo promedio de germinación (TMG). Luego, acompañando el crecimiento de semillas germinadas se evaluó el porcentaje de emergencia (E) y el tiempo promedio de emergencia (TME). Considerando como germinación la aparición de la raíz primaria (radícula) con 2 cm a partir del embrión y el desarrollo de la plántula arriba del nivel del suelo como emergencia. Además, se consideraron plántulas normales aquellas en las que se identificó el hipocótilo, los cotiledones, el epicótilo y los protofilos.

Las variables analizadas sometidas a una prueba de normalidad y luego, realizada el ANOVA con prueba F y significancia a nivel de 5 % de probabilidad. Los promedios de los tratamientos fueron comparados por la prueba Tukey ($P \leq 0,05$).

Resultados y Discusión

Caracterización de la regeneración

El promedio de individuos muestreados resultó ser más bajo para la especie *C. costarricense* con promedio de 5 individuos por parcela, en comparación con *C. scottmori* de aproximadamente 90 individuos por parcela. En la proyección de individuos por hectárea no se diferenciaron las clases de regeneración y en el caso particular de *P. gruberi* de apenas una parcela no se hizo posible calcular el promedio de individuos. Sin embargo, se proyectó un total de 361 individuos por hectárea de acuerdo con la observación de su comportamiento en campo (cuadro 6).

Cuadro 6. Abundancia de individuos de todas las clases de regeneración observadas. N = número de individuos observados; DE = desviación estándar; CV = coeficiente de variación.

Especie	N total	Promedio / parcela	DE	CV (%)	Mín - Máx	Total, Ind/ha
<i>Couratarii scottmori</i>	361	90,25	63,17	70	24 – 176	451
<i>Caryocar costarricense</i>	34	5,67	1,75	31	4 – 9	28
<i>Paramachaerium gruberi</i>	94	-	-	-		361

C. costarricense y *C. scottmori* presentaron mayor frecuencia para la clase de plántulas con 35 % y 66 %, respectivamente. La especie *C. scottmori* evidenció mortalidad en los individuos brinzales y latizales, llegando a cero el número de individuos para la clase fustales dentro de las parcelas del estudio (cuadro 7). *P. gruberi* presentó menos de 1 % de plántulas y brinzales, sin embargo, los fustales y latizales representaron más de la mitad de los individuos con 55 y 38%, respectivamente.

Cuadro 7. Frecuencia relativa de individuos por clase de regeneración y especie.

Especie	Plántulas	Brinzales	Latizales	Fustales
<i>Caryocar costarricense</i>	0,35	0,12	0,24	0,29
<i>Couratarii scottmori</i>	0,61	0,29	0,10	0,00
<i>Paramachaerium gruberi</i>	0,03	0,03	0,38	0,55

- *Caryocar costarricense*

Los individuos de *C. costarricense* presentaron altura mínima de 12 cm (plántulas) y máxima de 7,5 m (fustales). El promedio de altura de fustales fue de 5,10 m con CV de 22 %, donde el dap resultó un promedio de 14,42 cm con CV de 30,2 % (cuadro 8). No se encontraron en las parcelas individuos con altura mayor que 7,5 m y clases diamétricas mayores que 30 cm (figura 7 A y B).

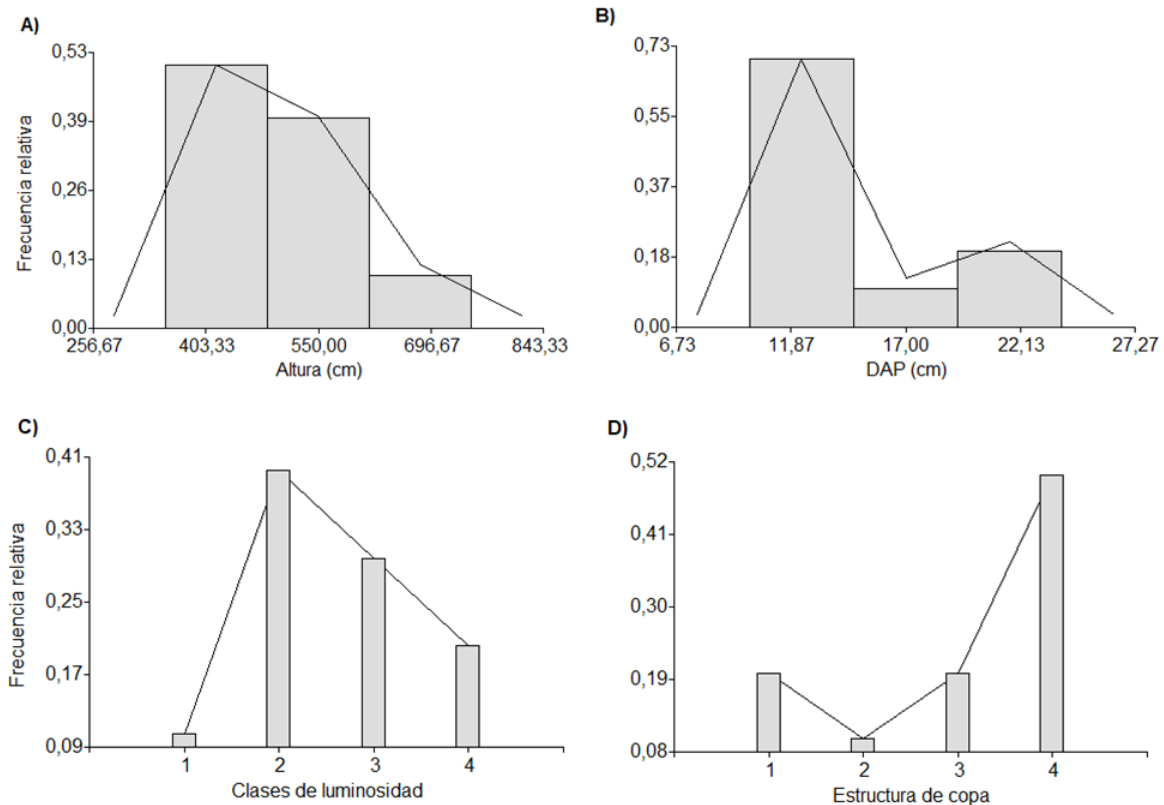


Figura 7. A y B – Histograma de la frecuencia relativa de fustales de *Caryocar costarricense* indicando el punto medio de altura y dap en cm. C y D – Gráfico de barras de la frecuencia relativa de fustales en las diferentes clases de luminosidad y estructura de copa.

La mayor concentración de individuos fustales están clasificados con iluminación tipo 2, indicando que la copa recibe parte de luz lateral (figura 7 C). Mientras que la mayor frecuencia (52%), para la estructura de la copa resultó ser para la clasificación tipo 4, de copa asimétricas con pocas ramas principales (figura 7 D).

La organización Osa Conservation conserva un área del bosque primario, hábitat de especies del dosel como: *Tachigali versicolor*, *Brosimum utile*, *Cedrela odorata*, *Calophyllum brasiliense*, *Calophyllum mesoamericanum*, *Virola koschnyi*, *Otoba novogranatensis* y *Terminalia amazonia*. En este contexto, existen árboles de otras especies como Pílon (*Hieronima alchorneoides*), con aproximadamente 5,0 m de dap y altura mayor a 40 m que promueve una base de protección para plántulas de varias especies, incluyendo una plántula muestreada de la especie de interés *C. costarricense* (figura 8), sin embargo, se observó en la mayoría de las parcelas *C. costarricense* como dominante del dosel (figura 9).

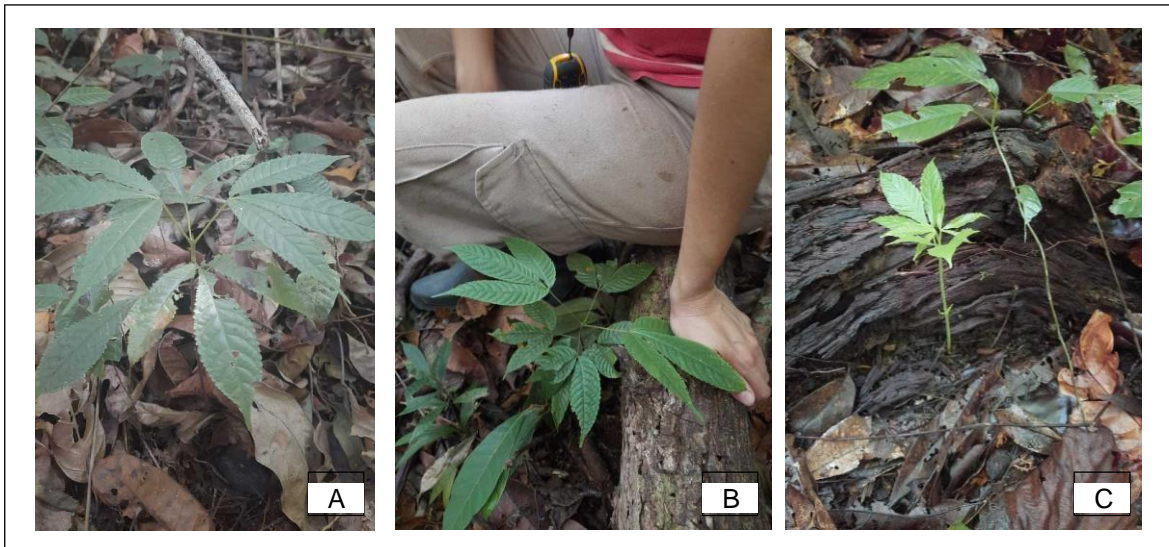


Figura 8. Plántulas de *Caryocar costarricense* muestreadas en los transectos de la Estación Piro - Osa Conservation, Costa Rica, 2023. (Foto: Luana V. Souza, 2023)



Figura 9. Matrices de *Caryocar costarricense*, Estación Piro - Osa Conservation, Costa Rica, 2023.

- *Couratarii scottmori*

No se encontraron individuos en la clase fustales para esta especie, lo que no hizo posible el análisis del dap y de la estructura de copa. Sin embargo, se realizó la clasificación de alturas para las clases plantulas, brinzales y latizales (figura 10), con promedio de $42,64 \pm 47,93$ cm de altura, resultando mínimo de altura igual a 5 cm (plántulas) y máximo de 3,50 m (latizales). Añadido a esto, se observa la mortalidad de latizales a partir de los 2 m de altura. La luminosidad en 97% de los individuos no reciben luz directa (clase 1) y apenas 3% están expuestos a la luz, lo que indica un comportamiento la alta tolerancia a la sombra en los primeros estadios de crecimiento.

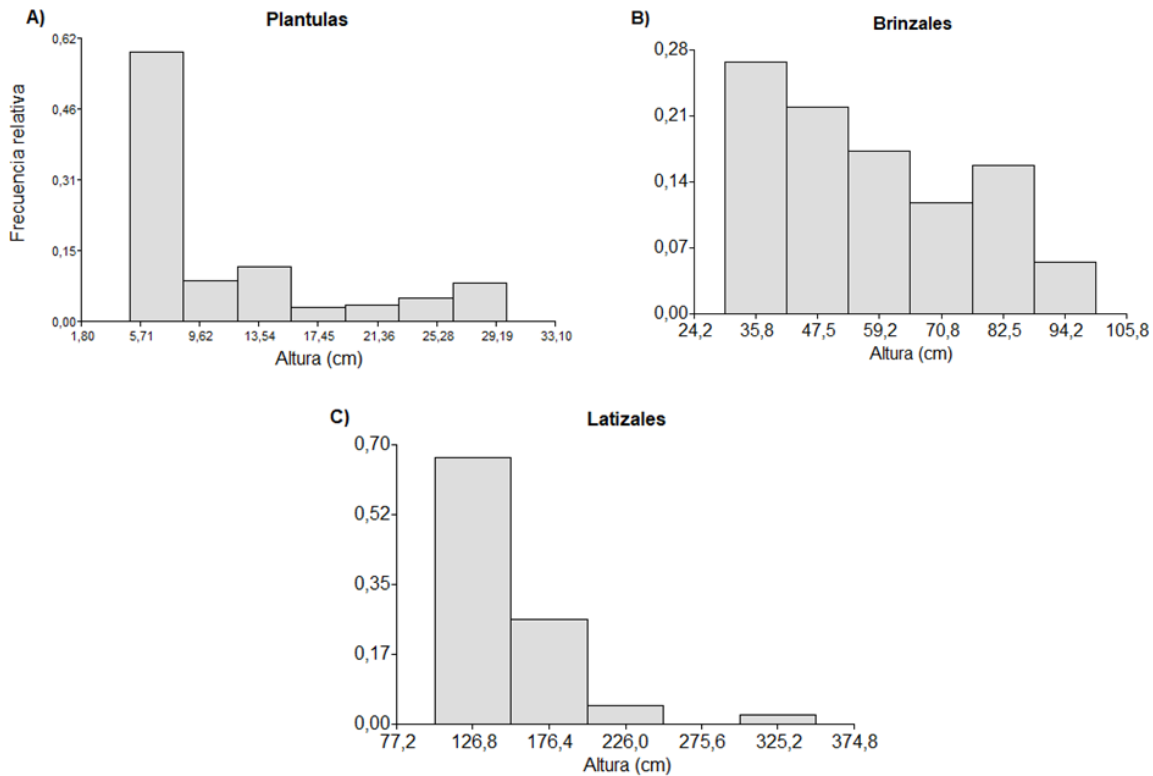


Figura 10. Histograma de frecuencia de individuos de *C. scottmori* por clase de regeneración indicado en el eje x el punto medio de altura (cm) de los individuos.

- *Paramachaerium gruberi*

Con comportamiento diferente de las demás especies, la regeneración de *P. gruberi* resultó tener mayor concentración de individuos en la clasificación fustales (55%) y apenas 3% de plántulas. Su distribución de altura de fustales (figura 11 A y B) expone el comportamiento que obtuvo un promedio de altura de 7,5 m (CV 56,8 %) y promedio de dap de 19,71 cm (CV 62,9 %) (cuadro 8).

Aunque esta especie presentó mayor número de individuos adultos, al menos 80% tiene dap promedio de 16,3 cm, lo que puede indicar la dificultad de la especie en alcanzar mayores diámetros de crecimiento, evidenciado con el bajo porcentaje de individuos en clases mayores de 40 cm de diámetro (figura 11 B).

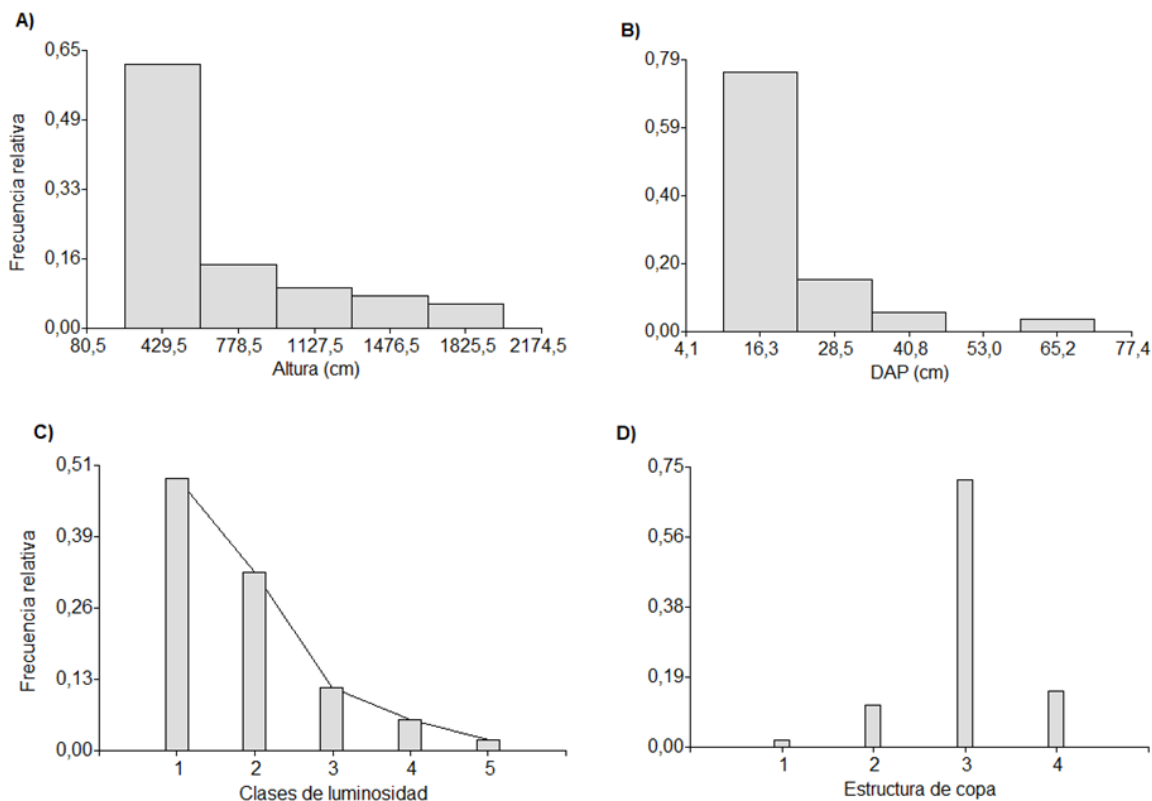


Figura 11. A y B– Histograma de frecuencia relativa de fustales de *Paramachaerium gruberi*, indicado en el eje x el punto medio de altura y dap (cm). C y D– Gráfico de barras de la frecuencia relativa de fustales por clase de luminosidad y estructura de copa.

En 65% de los individuos se predominó la clase de luminosidad 1, sin luz directa y la estructura de la copa tipo 3 observada para los fustales, con copas asimétricas y distribución escasa de ramas (figura 11 C y D).

Cuadro 8. Resumen de promedios, mínimo, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación para cada clase de regeneración de las tres especies amenazadas.

Especies	Variable	Clases de regeneración	Promedio (cm)	DE (cm)	Mín – Máx (cm)	CV (%)
<i>Caryocar costarricense</i>	Altura (cm)	Plántulas	18,22	5,27	12 – 28	28,94
		Brinzales	42,78	6,20	34 – 48	14,50
		Latizales	276,50	88,00	132 – 450	31,83
		Fustales	510,00	112,55	350 – 750	22,07
	dap (cm)	Latizales	5,70	1,61	3 – 8,50	28,32
		Fustales	14,42	4,36	10 – 24	30,26
<i>Couratarii scottmori</i>	Altura (cm)	Plántulas	18,22	5,27	12 – 28	28,94
		Brinzales	42,78	6,20	34 – 48	14,50
		Latizales	276,50	88,00	132 – 450	31,83
		Fustales *	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Paramachaerium</i>	Altura	Plántulas	29,03	0,95	28,10 –	3,27

Especies	Variable	Clases de regeneración	Promedio (cm)	DE (cm)	Mín – Máx (cm)	CV (%)
<i>gruberi</i>	(cm)	Brinzales	44,40	8,51	30,0 – 52,00	19,17
		Latizales	314,57	175,61	180,0 – 1250,0	55,82
		Fustales	749,91	425,83	255,0 – 2000,0	56,78
	dap (cm)	Latizales	6,49	2,32	1,0 – 9,90	35,75
		Fustales	19,71	12,41	10,20 – 71,30	62,95

*Además del árbol semillero escogido, no se reportó individuos adultos (fustales) dentro de las parcelas del estudio para la especie *Couratarii scottmori*.

- Asociación entre clases de regeneración y distancia del árbol semillero

La figura 12 representada por el gráfico Bi-plot por análisis de correspondencia, ejemplifica el comportamiento de la abundancia de cada clase de regeneración con relación a la distancia de los árboles semilleros.

El *Caryocar costarricense* exhibió una mayor asociación entre plántulas y brinzales con las distancias entre 20 y 70 metros del árbol semillero, mientras que los latizales y fustales se concentraron entre los metros 10 y 20 de distancia (Chi Cuadrado = 29,59, $P_{valor} = 0,0135$). Lo que demuestra un comportamiento de mayor tolerancia a la sombra de la especie, donde los latizales y fustales se observan con mejor crecimiento debajo de la copa de los árboles semilleros.

Es posible que el peso de sus frutos tipo drupas esté relacionado con los resultados de distancia de individuos del árbol semillero, estos frutos presentan una semilla que alcanza 4 cm de diámetro aproximadamente (Lobo et al. 2007) y son atractivos para los animales. Aunque, no existen observaciones directas sobre la dispersión de frutos de *C. costarricense*, se observó durante el estudio las lapas rojas (*Ara macao*) predando frutos aún inmaduros, también reportado por Solís et al. (2009).

El fuerte banco de plántulas de *C. scottmori* presentó mayor asociación entre los primeros 10 y 70 metros de distancia del árbol semillero (figura 12), mientras que los latizales están más presentes a partir de los 80 m hasta 100 m del árbol (Chi Cuadrado = 65,78, $P_{valor} < 0,0001$). Esos resultados demuestran que los individuos pueden llegar a largas distancias (> 50 m), además, puede indicar la necesidad de realizar transectos más largos en próximos estudios de la especie.

Las Lecythidaceae, subordinadas a la orden Lecythidales, poseen frutos dehiscentes o indehiscentes. En *C. scottmori* el fruto se clasifica como dehiscente, tipo pixidio, caracterizado por una dehiscencia transversal, con formación de un pericarpio en general leñoso y cilíndrico (Prance 1981), lo cual permite su dispersión de semillas principalmente por el viento (Procopio 2010).

En el caso de semillas dispersadas predominantemente por el viento, la razón superficie/peso (cm^2/g) de las semillas puede influir en su capacidad dispersión. Esas diferencias son observadas en las especies del género *Couratarii* estudiadas por Procopio (2010), la cual relató una razón de $77 \text{ cm}^2/\text{g}$ para la especie *C. guianensis* con gran superficie y menor peso de semillas, mientras que otras especies como *C. atrovinosa* y *C. stellata* con superficies menores y embriones más pesados, resultaron una razón de $25 \text{ cm}^2/\text{g}$.

Por lo tanto, la alta relación entre superficie y peso de la semilla implica una mayor ventaja para la dispersión a largas distancias, lo que está de acuerdo con lo encontrado para *C. scottmori*, con relación de $59,78 \text{ cm}^2/\text{g}$.

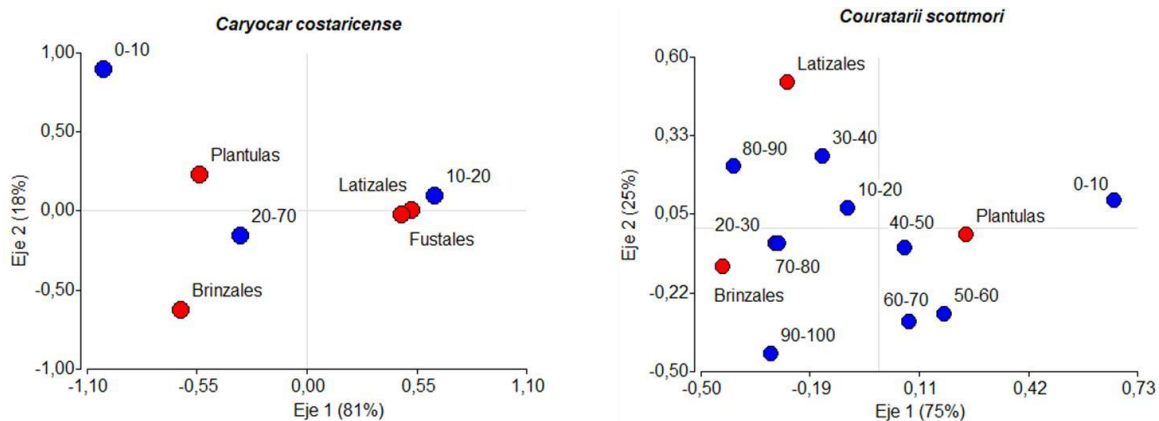


Figura 12. Gráfico Bi-plot por análisis de correspondencia de clases de regeneración asociadas a las distancias del árbol semillero de la parcela.

Análisis morfo-fisiológico de semillas

Un árbol semillero produce semillas con un grado de tolerancia a deshidratación muy variable bajo condiciones ambientales de estrés (Magnitskiy y Plaza 2007). En el contexto de conservación de especies, adquirir el conocimiento sobre la dinámica actual de la germinación de especies nativas entre los diferentes ecosistemas es importante para el desarrollo de protocolos de germinación más adecuados a la situación climática actual (Vargas-Figueroa & Torres-González, 2018).

- Recolección de semillas

La recolecta de semillas y frutos se llevó a cabo en el periodo seco durante los meses de febrero y marzo. En 2023, se monitoreó un comportamiento fenológico atípico de los árboles, con fructificación anticipada. Por lo tanto, se recolectaron las semillas de *C. scottmori* y frutos de *P. gruberi* directamente del suelo.

Las semillas de *C. scottmori* provienen de dos diferentes árboles semilleros del subsitio Los Planes y los frutos de *P. gruberi* son de al menos 5 árboles semilleros ubicados en el extremo sur de la península. No se encontró frutos maduros de *Caryocar costaricense* durante el periodo del estudio, lo que imposibilitó los análisis de morfofisiológicos de semillas para esta especie.

Couratarii scottmori

Se recibió un total de 236,70 g con aproximadamente 715 semillas de dos árboles semilleros. Luego de realizada la asepsia, se determinó el contenido de humedad y el peso de mil semillas estimado (cuadro 9), así como se midió las dimensiones anatómicas de las semillas de *C. scottmori* (cuadro 11) y la caracterización del embrión (figura 16). Para las pruebas de germinación se mezclaron los dos lotes de semillas disponibles con el objetivo de obtener cantidad suficiente de repeticiones.

Cuadro 9. Datos de semillas de *C. scottmori* de árboles semilleros de los Planes de Osa, 2023.

Especie	Peso de mil semillas* (g)	Promedio (g)	DE	CV (%)	Tasa de Humedad Inicial (%)
<i>Couratarii scottmori</i>	331,5	0,289	0,071	24,67	26,9

*El peso de mil semillas fue realizado con 8 repeticiones de 10 semillas cada repetición, debido a la poca cantidad disponible de cada lote para los análisis.

Con un contenido de humedad de 26,9% se considera *C. scottmori* una especie susceptible a la deshidratación y a la sensibilidad a temperaturas bajas prolongadas, lo que limita su almacenamiento a largo plazo pues contiene una alta tasa de humedad (> 15 %). Este alto contenido de humedad puede acelerar el proceso de envejecimiento proporcionando condiciones ideales para la contaminación por hongos, y disminuyendo la calidad de propagación y el vigor de las semillas (Pedrini y Dixon 2020).

Por lo tanto, la humedad inicial relacionado a la calidad y cantidad de reservas en semillas con mayores o menores tamaños también es un factor que influye en el éxito del establecimiento y sobrevivencia durante la fase de emergencia de plántulas (Camargo *et al.* 2002).

- **Análisis biométrico**

La media de masa para las semillas de *C. scottmori* presentó valor máximo de 0,431 g y mínimo de 0,031 g (figura 13). Al comparar con los valores generales de las semillas muestreadas fue considerado como un valor atípico en el conjunto de la muestra total, con una desviación estándar baja de 0,07, resultando una mayor estabilidad de los datos.

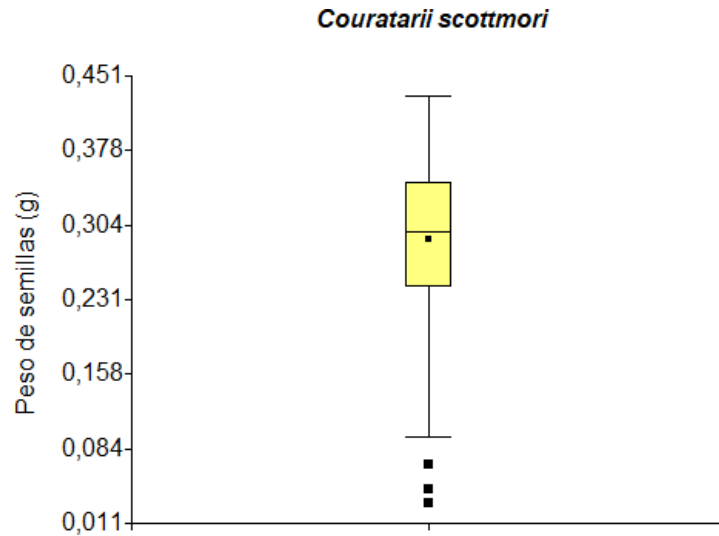


Figura 13. Diagrama de cajas (boxplot), con valores de máximo, mínimo, primer y tercer cuartil con la marca central en el box indicando el promedio; el marcador central comprende la mediana del peso de semillas de *Couratarii scottmori*, Los Planes de Osa, 2023.

Para examinar la distribución de probabilidad del peso de las semillas, se analiza el valor de curtosis del cuadro 10. La curtosis indica el grado de concentración de los valores alrededor de una medida central (0,263). La distribución de probabilidad se categorizó como mayor que 0,263, lo que describe los datos de peso de las semillas con una curva platicúrtica.

Cuadro 10. Medidas de posición y dispersión, para el peso de 200 semillas recolectadas de *Couratarii scottmori*, utilizando la estadística descriptiva. Península de Osa, 2023.

Medidas de posición		Medidas de dispersión	
Promedio	0,289	Varianza	0,00509
Moda	0,332	Desviación estándar	0,07140
Mediana	0,298	Curtosis	0,90683
CV (%)	24,67	Amplitud	0,400

Las curvas platicúrticas son de frecuencia más aplastadas con relación a una curva normal. Es decir que las mayores frecuencias no están asociadas a los valores centrales de la distribución. Además, la curva de asimetría de los datos resultó un valor negativo de 0,90, es decir, las mayores frecuencias están asociadas a los mayores pesos de semillas muestreadas (figura 14).

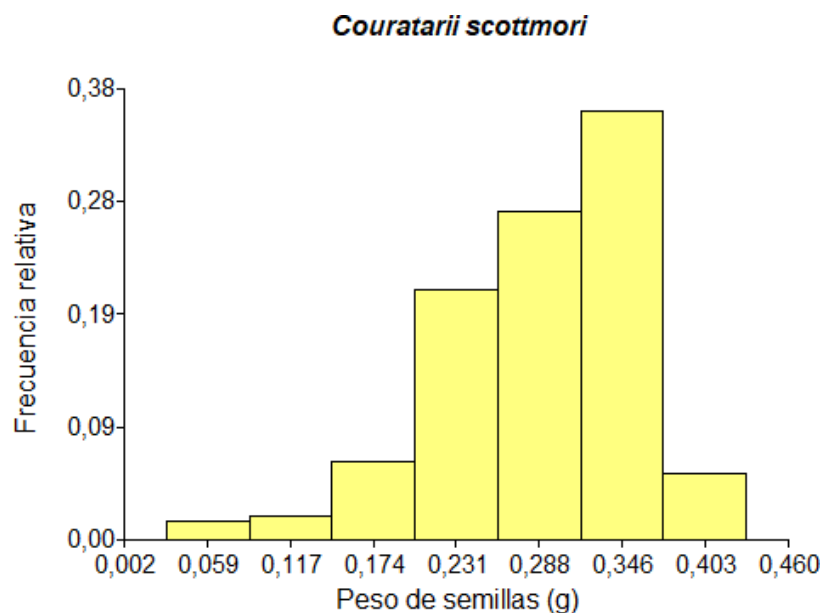


Figura 14. Distribución de frecuencia de semillas por clase de peso en gramos de la especie *C. scottmori*.

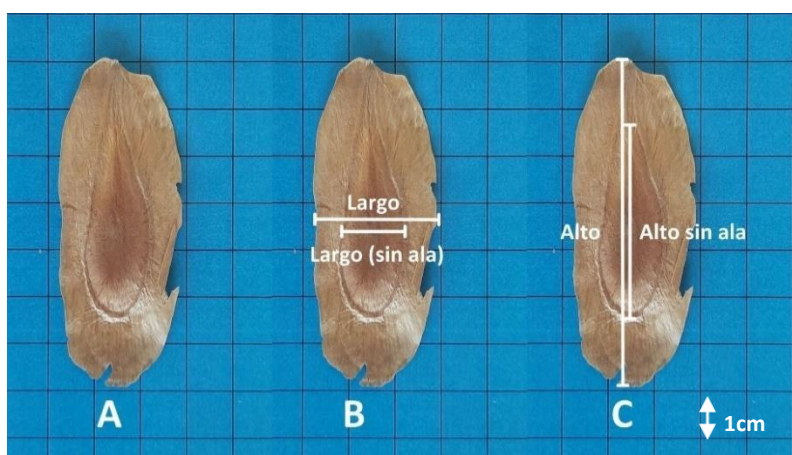


Figura 15. Metodología de análisis de biometría para semillas de *C. scottmori*, CATIE, 2023.

El análisis morfométrico por árbol semillero resultó en valores promedios de semillas de 0,333 g (lote 1) y 0,246 g (lote 2). Apenas en la variable Alto (con ala) el lote 1 presenta valor menor que el lote 2 (cuadro 11).

Cuadro 11. Caracterización morfométrica de 200 semillas de *C. scottmori* de dos árboles semilleros ubicados en Los Planes, Península de Osa, 2023.

	Promedios (mm)					
	Alto	Alto (sin ala)	Largo	Largo (sin ala)	Ancho	Peso MF (g)
Lote 1	55,994	23,334	33,458	13,323	1,787	0,333
Lote 2	56,356	22,478	28,221	11,840	1,470	0,246
Promedio	56,175	22,906	30,839	12,581	1,629	0,289

MF= masa fresca

Las semillas de *C. scottmori* comparadas con aquellas de mismo género, resultaron tener un promedio longitudinal con el ala de 5,61 cm; longitud sin ala de 2,3 cm; largo con ala de 3,08 cm y largo sin ala de 1,26 cm (cuadro 11). El valor de ancho de 1,62 mm se ve próximo del dato para *C. atrovinosa* que es de 1,7 mm, sin embargo, presenta menor área superficial entre todas las especies *Couratarii*, con 5,3 cm² (Procopio 2010). Por fin, *C. scottmori* resultó tener área superficial de 17,31 cm², de acuerdo con la morfometría detallada por Prance (1981).

- **Caracterización del embrión y germinación**

De acuerdo con Pereira & Secorun (2007), la germinación del género *Couratarii* es del tipo fanerocotiledonar y epigea, con cotiledones foliáceos (figura 17), denominada como fanero-epigeo-foliáceas. Esta característica puede considerarse como estrategias adaptativas fundamentales para el establecimiento inicial de la especie.

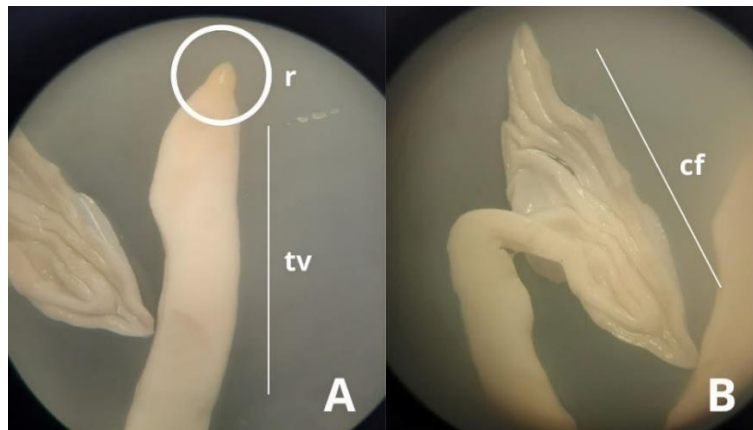


Figura 16. Embrión de *Couratarii scottmori*. (A) r: radícula; tv: tejido vascular. (B) cf: cotiledones foliáceos.

- **Prueba de germinación**

El tratamiento que presentó menor tiempo promedio de germinación (TPG) fue el tratamiento 2 (inmersión en agua) a los 21 días, aunque no se presentaron diferencias significativas entre medias de tratamientos con relación al TPG (cuadro 13).



Figura 17. Experimento de *C. scottmori* en cámara de germinación en el Banco de Semillas Forestales, CATIE, 2023.

En la cámara de germinación (figura 17), los tratamientos 2 y 4 obtuvieron resultados similares de 83% de semillas germinadas. Se observó que las semillas de *Couratarii scottmori* son ausentes de dormancia física o química para la germinación, pues su episperma (capa que protege su embrión) no posee impermeabilidad y favorece la absorción de agua corroborado por la velocidad de germinación, considerando que el tratamiento 2 de inmersión de semillas en agua por más de 12 horas presentó resultados satisfactorios y de rápida germinación (figura 18).

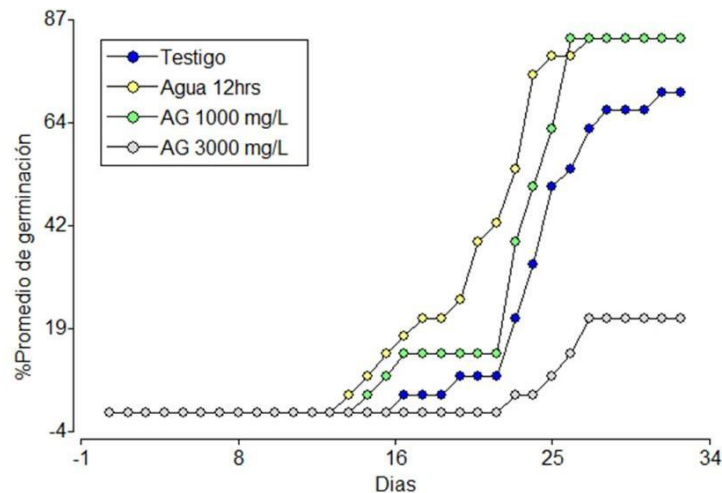


Figura 18. Curvas de velocidad de germinación para los tratamientos pregerminativos de la especie *Couratarii scottmori*, 2023.

Cuadro 12. Resultados estadísticos sobre porcentaje de germinación (%G), tiempo promedio de germinación (TPM), promedio de altura de plántulas (PAP), promedio de raíces de plántulas (PRP), con comparación entre tratamientos pregerminativos realizados.

Tratamiento	%G	TPG (días)	PAP (cm)	PRP (cm)
1- Testigo	70,75 ^a	24 ^a	82,34 ^a	54,61 ^a
2 – Agua T°C ambiente	83,25 ^a	21 ^a	103,52 ^a	73,67 ^a
3 – Agua T°C 80°C/2min.	-	-	-	-
4 – AG [1000 mg.L ⁻¹]	83,25 ^a	23 ^a	91,03 ^a	57,95 ^a
5 – AG [3000 mg.L ⁻¹]	21,00 ^b	25 ^a	84,45 ^a	40,64 ^a

* Promedios con letra común en columnas no difieren significativamente entre sí por la prueba Tukey a 5 % de probabilidad ($p > 0,05$).

En el experimento, todas las semillas viables, en condiciones de luz y temperatura constantes, emitieron la radícula antes de los 30 días. Sin embargo, el tratamiento 3 de inmersión en agua caliente no fue exitoso para germinar en ninguna de las repeticiones, indicando la sensibilidad del tegumento de las semillas a altas temperaturas y corroborando la fácil absorción por el tegumento.

Además, la comparación entre los tratamientos pregerminativos en *C. scottmori* no presentaron diferencias significativas por la prueba Tukey ($p \leq 0,05$) con las medias de las variables TPG, PAP, PRP, resultando medias estadísticamente iguales.

En contraste, el porcentaje de germinación de *C. scottmori* se vio afectado negativamente por la concentración más alta de ácido giberélico [3000 mg. L⁻¹], (tratamiento 5), con porcentaje promedio de germinación de aproximadamente 21 %, difiriendo estadísticamente de los tratamientos 1, 2 y 4. El tratamiento 3 no fue considerado en los análisis estadísticos por resultar en porcentajes de germinación nulos.

- Presencia de plántulas albinas (sin clorofila)

Durante el experimento, se observó la germinación de dos plántulas que presentaron albinismo (figura 19), la coloración blanca o albinismo en las plantas está asociado a la falta de pigmentación clorofílica, lo que resulta en partes de la planta sin color (blancos). Esta deficiencia puede estar relacionada a efectos negativos en su reproducción debido a deriva genética, que puede resultar de la fragmentación y/o aislamiento de poblaciones, lo que reducen o interrumpen los flujos genéticos (Corea 2012). Los cuales las especies amenazadas que están en alto riesgo de reducción, con poblaciones que cuentan con menos 50-100 individuos pueden expresar (Monge y Brenes 2003).



Figura 19. Plántulas sin clorofila en experimentos de germinación de *Couratarii scottmori*, BSF, 2023.

Es importante destacar que, en los sitios de estudio, también se observaron plántulas albinas en el mismo año, estas no fueron no cuantificadas (figura 20).



Figura 20. Plántulas de *Couratarii scottmori* sin clorofila, Los Planes, Península de Osa, Costa Rica, 2023 (Foto: Leonardo A. Salazar y María José M. Quirós, 2023).

Piña-Rodrigues y colaboradores (2007) destacan cómo la pérdida de la diversidad genética puede incrementar posibilidades de extinción de las especies, debido al aumento de la endogamia y la coancestría. En este contexto, investigaciones previas con especies forestales con bajas poblaciones en Costa Rica, como *Cedrela salvadorensis*, han señalado la presencia de plántulas albinas sin clorofila y en otras especies plántulas enanas, con muy poco vigor, con hojas deformes o atípicas (Corea 2012). Por lo tanto, están indicados problemas de diversidad genética en las poblaciones de *C. scottmori*, con la presencia de inúmeras plántulas sin clorofila con baja sobrevivencia en campo.

Los autores Morales-Salazar et al. (2013), demuestran que el mayor número de especies amenazadas se concentran en los bosques primarios y en bosques secundarios de mayor edad. Esto refuerza el alto potencial de conservación y conectividad de bosques secundarios. Por ende, poner en riesgo estos ecosistemas en recuperación, la población efectiva de especies amenazadas puede continuar reduciéndose, provocando un aumento

exponencial de la probabilidad de erosión genética dentro de una especie (Monge y Brenes 2003, Corea 2012).

Paramachaerium gruberi

Se realizó la determinación del peso total colectado, número de semillas estimado por fruto y la tasa de humedad de los frutos de *P. gruberi* (cuadro 13). El periodo estimado de caída de los frutos se esperaba entre abril-mayo de 2023, coincidiendo con el inicio del periodo lluvioso en la región. Sin embargo, al observar la caída de frutos anticipada (febrero de 2023), estos fueron colectados para los análisis de laboratorio directamente del suelo. Después de marzo/2023, no se observaron más frutos de *P. gruberi* en buena calidad en la región.

Los frutos fueron sometidos a desinfección descrita en la metodología y secados a la sombra en el BSF durante la preparación de los análisis, de acuerdo con estudios de Vargas (1992).

Cuadro 13. Características generales de frutos de *P. gruberi* recolectados en el mes de febrero, Matapalo, Península de Osa, 2023.

Especie	Peso total (g)	Promedio (g)	DE	CV (%)	Promedio semillas/fruto	Tasa de Humedad Fruto (%)
<i>Paramachaerium gruberi</i>	715,8	1,08	0,28	25,60	1	13,0

En el caso de *P. gruberi* el fruto se clasifica como indehiscente tipo sámara, con disposición de 4-5 cámaras seminíferas donde las semillas germinan aun dentro el fruto (Vargas, 2002) (figura 23 B). Se realizó la apertura de 50 frutos para cuantificar el promedio de semillas por fruto, lo que arrojó una probabilidad de 54 % de que los frutos tengan al menos una semilla viable, seguido de 22 % de chance de no presentar semillas, 18 % de tener al menos 2 semillas y 6 % de tener 3 semillas por fruto (cuadro 14).

Cuadro 14. Porcentaje de número de semillas extraídas de 50 frutos de *Paramachaerium gruberi*, Península de Osa, 2023.

Número de semillas/fruto	Conteo #	Probabilidad (%)
0 semillas	11	22
1 semilla	27	54
2 semillas	9	18
3 semillas	3	6

Estos resultados muestran valores similares a aquellos observados por Vargas (1992) en Panamá, siendo este el único estudio anterior sobre la germinación de *P. gruberi*. Este encontró de una a tres semillas viables en el 70% de frutos de *P. gruberi*, resultando en 51,43% de frutos con probabilidad de tener una semilla y 15,71% o 2,86% de contener al menos dos o tres semillas, respectivamente.

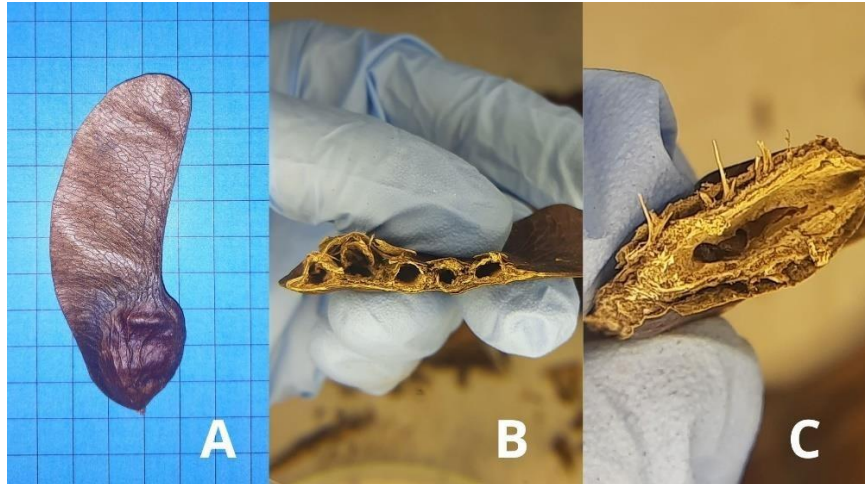


Figura 21. Fruto de *Paramachaerium gruberi* tipo sámara (A), cinco cámaras seminíferas (B) y presencia de semilla seca en su interior (C).

- **Caracterización del embrión**

Las semillas fueron extraídas con dificultad del interior de los frutos, con un aspecto arrugado y seco (figura 22 A). Algunas de estas fueron dispuestas en placas Petri con agua de veinte a treinta minutos y presentaron absorción por el tegumento, lo que hizo posible la incisión longitudinal para observación del embrión en su interior (figura 22 B).

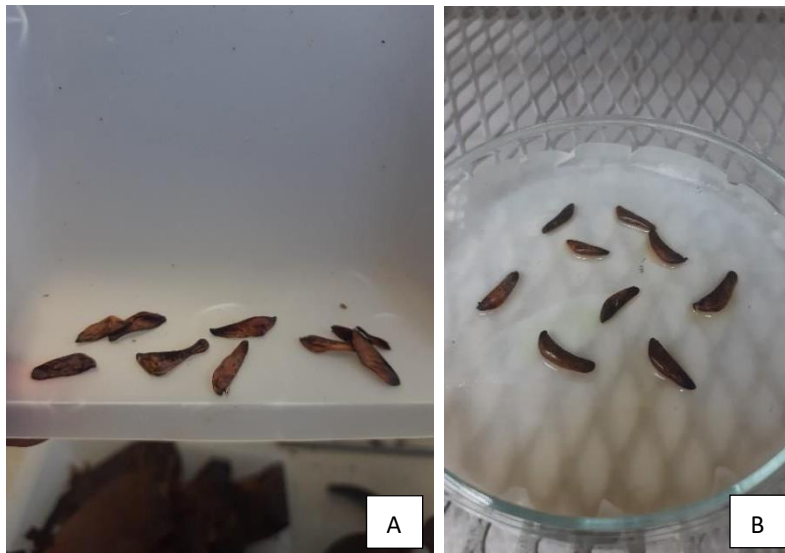


Figura 22. A - Semillas extraídas de frutos de *Paramachaerium gruberi*. Con aspecto seco y aparentemente inviables. B – Semillas después de media hora emergidas en agua y turgentes, aparentemente viables.

En la semilla de *P. gruberi* fue posible identificar el tegumento que recubre las semillas (episperma), los cotiledones y la estructura primaria de raíz, y la radícula (figura 23).

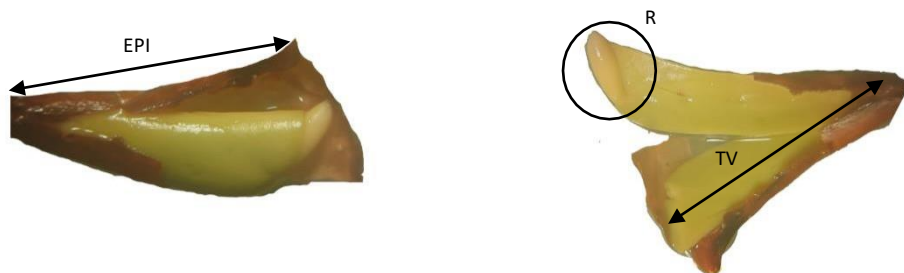


Figura 23. Embrión de *Paramachaerium gruberi*. R: radícula; TV: tejido vascular. EPI: episperma.

La familia Fabaceae se subdivide en tres subfamilias: Caesalpinioideae, Faboideae y Mimosoideae, siendo una de las mayores familias de angiospermas. Debido a la diversidad morfológica existente dentro de la familia, conocer aspectos de la morfología interna de las semillas es de gran importancia para el conocimiento científico a nivel de especie (Gunn, 1984).

Los cotiledones observados en Fabaceae pueden ser del tipo foliáceos, reducidos, o de reserva. En el caso de *P. gruberi*, presenta un tipo de cotiledón de formato oblongo adaptado para el almacenamiento y no para hacer fotosíntesis. Existen pocos estudios que aborden la complejidad de las reservas en las semillas, y no existe una delimitación clara entre el final de su desarrollo y el comienzo de la germinación, siendo consideradas metabólicamente activas durante todas las fases (Kermode 1997).

- **Análisis Biométrico**

Tras caracterizar el embrión, se realizó un análisis estadístico descriptivo sobre el peso de 250 frutos de *P. gruberi*. En el diagrama de cajas (figura 24) están representados los valores de máximo, mínimo, mediana, primer y tercer cuartil, con fines de un análisis detallado sobre la distribución de la masa de los frutos recibidos.

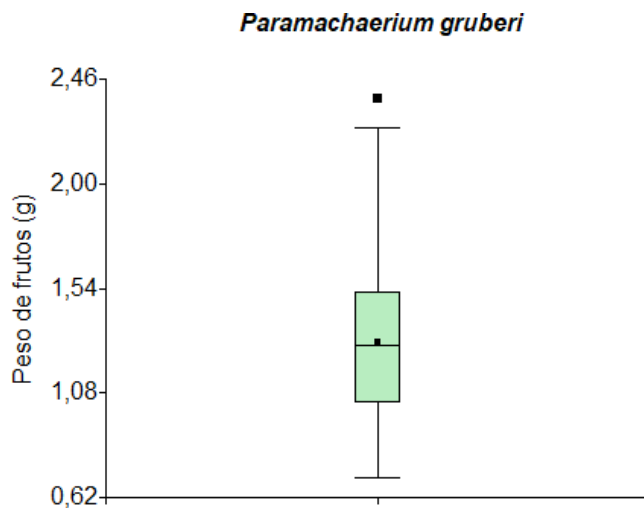


Figura 24. Diagrama de cajas (boxplot), presentando los valores de máximo, mínimo, primer y tercer cuartil con la marca central en el box indicando el promedio; el marcador

central comprende la mediana del peso de frutos de *Paramachaerium gruberi*, Fila Carbonera, Península de Osa, 2023.

Las medidas de posición revelan que los frutos recolectados en la región tienen un promedio de 1,07 g (cuadro 15), valor menor que los resultados encontrados en Panamá, de aproximadamente 2,16 g por fruto (Vargas 1992).

Cuadro 15. Medidas de posición y dispersión de 250 frutos de un grupo de matrices de *Paramachaerium gruberi*, utilizando la estadística descriptiva, Península de Osa, 2023.

Medidas de posición		Medidas de dispersión	
Promedio	1,07	Varianza	0,07032
Moda	1,04	Desviación estándar	0,26518
Mediana	1,0565	Curtosis	0,23124
CV (%)	24,70	Amplitud	1,51

En cuanto al resultado de curtosis sobre la distribución de los datos (cuadro 15), la distribución de probabilidad se categorizó como una curva leptocúrtica, con valor de 0,231, menor que 0,263. Esto indica que la curva de frecuencias es más afilada que la curva normal. Además, los datos presentan una asimetría positiva, lo que sugiere que las frecuencias se concentran en valores más bajos de pesos de los frutos muestreados (figura 25).

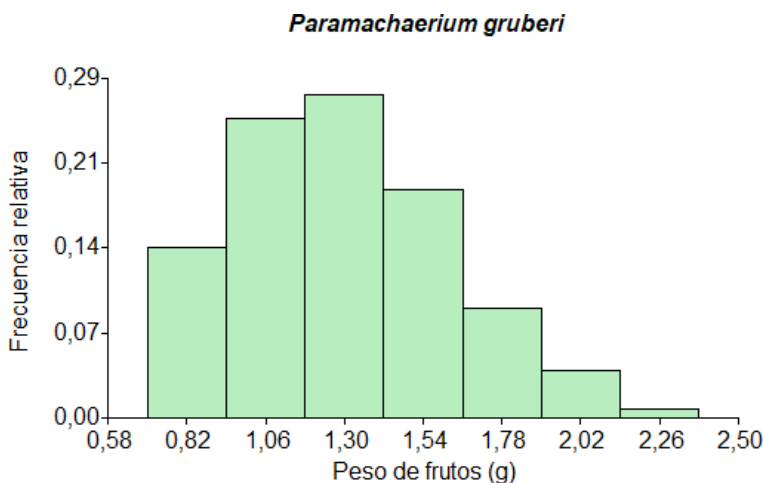


Figura 25. Distribución de frecuencia de semillas por clase de peso en gramos de la especie *P. gruberi*.

- **Pruebas de germinación**

Finalmente, se realizó una prueba de germinación con 120 frutos del *P. gruberi* durante 60 días con el objetivo de observar también el índice de velocidad de emergencia, además de la tasa de germinación con la protrusión de la radícula. Todos los tratamientos realizados presentaron ataque por patógenos fúngicos a partir de dos semanas del experimento (figura 26).



Figura 26. Presencia de patógenos fúngicos a los 15 días de inicio de la prueba de germinación con frutos de *Paramachaerium gruberi*, BSF, CATIE, 2023.

A fin de evitar una mayor propagación de patógenos aeróbicos, se cubrió los frutos de *P. gruberi* con una camada de arena fina a los 15 días de inicio del experimento. Se identificó la emisión de la radícula en un fruto del tratamiento 3 (remojo en agua caliente) después de 37 días, la cual no sobrevivió hasta el final de la prueba.

Sin embargo, en el tratamiento 2 de remojo en agua natural por 12 horas, se observó la emisión de la radícula en una semilla de un fruto al día 24, con apertura de las primeras hojas al día 33, sobreviviendo hasta el término de los análisis (figura 29).

Es relevante considerar la posibilidad de que estos frutos posiblemente no alcanzaron su óptimo grado de madurez de las semillas, además de la suposición de que las condiciones del bosque de humedad y luz podrían tener efectos negativos en el momento de la recolección de estos frutos. Vargas (1992) también sostiene que las semillas de *P. gruberi* manifiestan una notable sensibilidad a diversas condiciones de iluminación y humedad, lo cual resulta en una disminución gradual de su capacidad germinativa.

Dado que *P. gruberi* es una especie que se caracteriza por su estrategia de germinación acelerada en condiciones de luz y humedad favorables (Vargas 1992) la baja tasa de germinación del estudio realizado en 2023 podría estar relacionada con la tardía recolección de frutos directamente del suelo. Se considera que la variabilidad del clima y humedad del bosque puede haber interferido en la viabilidad de las semillas para las pruebas de germinación, siendo una especie con semillas de característica sensible al cambio climático.

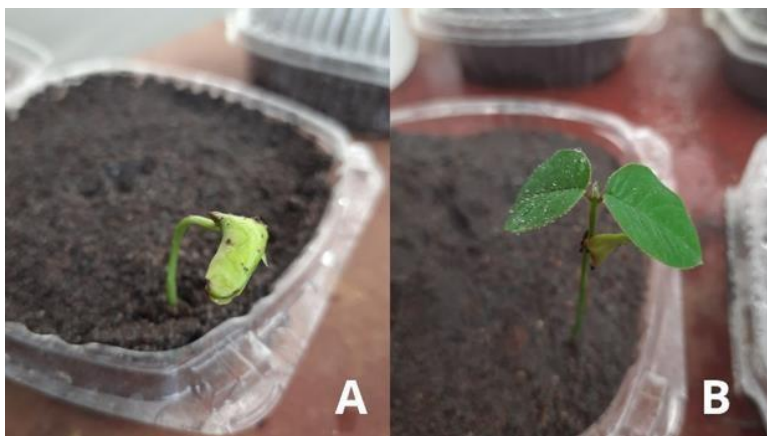


Figura 27. A – germinación de *Paramachaerium gruberi* a los 35 días de la prueba. B – plántula a los 60 días de la prueba de germinación, BSF, Costa Rica, 2023.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación deben considerarse como preliminares y exploratorios, donde se destaca la escasez de informaciones científicas principalmente a nivel de germinación de las especies *C. scottmori*, *C. costarricense* y *P. gruberi*.

La especie *C. scottmori* presenta un importante banco de plántulas para la propagación *ex situ*, se describe las semillas con tegumento permeable y sensible a altas temperaturas, de fácil propagación, con mayor velocidad de germinación cuando inmersas en agua a temperatura ambiente.

La especie *P. gruberi* resultó bajo número de plántulas indicando que esta estrategia quizá no sea el principal medio de propagación de la especie. Se describe la semilla de *P. gruberi* como sensible a la desecación.

La especie *C. costarricense* tiene pocos individuos en las clases de regeneración observadas, no obstante, presentó individuos en todas las clases de regeneración. Buenas prácticas de manejo silviculturales pueden ser indicadas para acelerar el buen desarrollo de la especie con banco de plántulas importante para la propagación *ex situ*.

Esta investigación amplió los conocimientos en términos morfológicos de las semillas, frutos, plántulas y actual regeneración de las especies. Además, proporcionó datos que pueden ser considerados en planos de manejo futuros, reforzando la importancia de alcanzar más conocimiento para la conservación y propagación *ex situ* de las mismas.

- **Recomendaciones**

Examinar características de las semillas tales como la humedad y viabilidad en el punto de máxima maduración de los frutos y principalmente la resistencia a desecación para la propagación *ex situ*.

Continuar con estas investigaciones, comparando la germinación de diferentes árboles semilleros, acompañando también la velocidad de crecimiento y reclutamiento de nuevos individuos de estas especies en la región.

El comportamiento de la especie *P. gruberi* sugiere otro tipo de propagación predominante, además de la reproducción sexuada por semillas, que se indica investigar en estudios futuros de la especie.

La preservación de núcleos de las especies puede desempeñar un papel crucial en la conservación y regeneración de poblaciones amenazadas. En este estudio se informó la ocurrencia de plántulas sin clorofila de *C. scottmori* y se requiere más investigaciones sobre la frecuencia y causas del albinismo en el sitio de Los Planes.

Revisión Bibliográfica

- Abeli, T; Dalrymple, S; Godefroid, S; Mondoni, A; Müller, J V.; Rossi, G; Orsenigo, S. 2020. Ex situ collections and their potential for the restoration of extinct plants. *Conservation Biology* 34(2):303-313. DOI: <https://doi.org/10.1111/cobi.13391>.
- Aguilar-Arias, H; Ortiz-Malavassi, E; Vilchez-Alvarado, B; Chazdon, RL. 2012. Biomasa sobre el suelo y carbono orgánico en el suelo en cuatro estadio de sucesión de bosques en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica)* 9(506):22-31.
- Alvarado, IC. 2014. El árbol de Ajo (*Caryocar costarricense*) una especie endémica de Costa Rica y Panamá. s.l., s.e. p. 1-2.
- Alvarado-López, S; Soriano, D; Velázquez, N; Orozco-Segovia, A; Gamboa-deBuen, A. 2014. Priming effects on seed germination in *Tecoma stans* (Bignoniaceae) and *Cordia megalantha* (Boraginaceae), two tropical deciduous tree species. *Acta Oecologica* 61:65-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2014.10.007>.
- Barstow, M. 2018. *Caryocar costarricense*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T31296A67739524. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-1.RLTS.T31296A67739524.en>. Accessed on 12 August 2023.
- Breman, E; Ballesteros, D; Castillo-Lorenzo, E; Cockel, C; Dickie, J; Faruk, A; O'donnell, K; Offord, CA; Pironon, S; Sharrock, S; Ulian, T. 2021. Plant diversity conservation challenges and prospects—the perspective of botanic gardens and the millennium seed bank. *Plants* 10(11):1-35. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10112371>.
- Chau, MM; Chambers, T; Weisenberger, L; Keir, M; Kroessig, TI; Wolkis, D; Kam, R; Yoshinaga, AY. 2019. Seed freeze sensitivity and ex situ longevity of 295 species in the native Hawaiian flora. *American Journal of Botany* 106(9):1248-1270. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajb2.1351>.
- Clark, DA; Clark, DB. 1992. Life History Diversity of Canopy and Emergent Trees in a Neotropical Rain (en línea). Source: *Ecological Monographs* 62(3):315-344. Disponible en <http://www.jstor.org> URL: <http://www.jstor.org/stable/2937114>.
- Cochrane, JA; Crawford, AD; Monks, LT. 2007. The significance of ex situ seed conservation to reintroduction of threatened plants. *Australian Journal of Botany* 55(3):356-361. DOI: <https://doi.org/10.1071/BT06173>.
- Corea, E. 2012. Conservación y reproducción ex situ de especies forestales en peligro de extinción en Costa Rica. *Ambientico* 229(4):23-28.
- Corea-Arias, E; Arnáez-Serrano, E; Moreira-González, I; Castillo-Ugalde, M. 2016. Situación de nueve especies forestales en peligro crítico de extinción en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 13(33):36. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i33.2576>.
- Cubiña, A; Aide, TM. 2001. The Effect of Distance from Forest Edge on Seed Rain and Soil Seed Bank in a Tropical Pasture. *33(2):260-267*.

- Curran, LM; Webb, CO. 2000. Experimental Tests of the Spatiotemporal Scale of Seed Predation in Mast-Fruiting Dipterocarpaceae. *Ecological Monographs* 70(1):129. DOI: <https://doi.org/10.2307/2657170>.
- Dawkins, HC 1958. The management of Tropical High Forest with special reference to Uganda. Oxford, United Kingdom, University of Oxford. Institute Paper no. 34). 155 p
- Estrada, AC; González, AR; González, JS. (2005). Evaluación y categorización del estado de conservación de plantas en Costa Rica. Costa Rica, s.e.
- Ferraz, IDK; Leal Filho, N; Imakawa, AM; Varela, VP; Piña-Rodrigues, FátimaCM. 2004. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. *Acta Amazonica* 34(4):621-633. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0044-59672004000400014>.
- Gunn, C.R. 1984. Fruits and seeds of genera in the subfamily Mimosoideae (Fabaceae). *Technical Bulletin* 1681:1-194
- Hartshorn, G. S. 1984 Corcovado. Pp. 1322-135. En: D.H. Janzen, ed., *Costa Rican Natural History*. The University of Chicago Press. Chicago.
- Holdridge, L. R. W. C. Grenke, W. H. Hatheway, T. Liang & J. A. Tosi. 1971. *Forest Environments in Tropical Life Zones: A pilot Study*. Pergamon press. Oxford., Inglaterra. 735pp.
- ISTA. 1999. International rules for seed testing. International Seed Testing Association (ISTA), *Seed Science and Technology*, 27, Supplement.
- Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). 1999. *Paramachaerium gruberi* Briz.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2013). Pronóstico de las condiciones climáticas por ciudades. Recuperado de <http://www.imn.ac.cr/>
- Jensen, A; Meilby, H. 2012. Assessing the Population Status of a Tree Species Using Distance Sampling: *Aquilaria crassna* (Thymelaeaceae) in Northern Laos. *International Journal of Forestry Research* 2012:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/265831>.
- Jiménez, Q. 2015. El camino a la extinción de los árboles en Costa Rica. *Revista Mensual sobre la Actualidad Ambiental Ambientico*:23-30.
- Kappelle, M., M. Castro, H. Acevedo, L. González y H. Monge. 2002. Ecosistemas del Área de Conservación Osa (ACOSA). Serie Técnica Ecosistemas de Costa Rica. Editorial INBio. Heredia, Costa Rica. 332.
- Kappelle, M. 2016. Chapter 1 Costa Rica's Ecosystems: Setting the Stage. *Costa Rican Ecosystems* (April):3-16.
- Kermode, AR. 1997. Approaches to elucidate the basis of desiccation-tolerance in seeds. *Seed Science Research* 7(2):75-95. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0960258500003421>.
- Lepsch-Cunha, N; Mori, SA. 1999. Reproductive phenology and mating potential in a low-density tree population of *Couratari multiflora* (Lecythydaceae) in central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 15(1):97-121. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467499000693>.
- Ley-López, JM; Wawrzyniak, MK; Chacón-Madrigal, E; Chmielarz, P. 2023. Seed traits and tropical arboreal species conservation: a case study of a highly diverse tropical humid forest region in Southern Costa Rica. *Biodiversity and Conservation*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02565-3>.
- Lobo, J; Barrantes, G; Castillo, M; Quesada, R; Maldonado, T; Fuchs, EJ; Solís, S; Quesada, M. 2007. Effects of selective logging on the abundance, regeneration, and short-term survival of *Caryocar costarricense* (Caryocaceae) and *Peltogyne purpurea* (Caesalpinaceae), two endemic timber species of southern Central America. *Forest Ecology and Management* 245(1-3):88-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.067>.

- Lobo, J; Guilar, RA; Hacón, EC; Uchs, EF. 2008. Phenology of tree species of the Osa Península and Golfo Dulce region, Costa Rica Fenología de especies de árboles de la Península de Osa y la región de Golfo Dulce, Costa Rica. *Fruits* 80:547-555.
- Magnitskiy, SV; Plaza, GA. 2007. Physiology of recalcitrant seeds of tropical trees. *Agron. Colomb* 25(1):96-103.
- Monge, RQ; Brenes, KQ. 2003. Estudio de especies forestales con poblaciones reducidas o en Peligro de Extinción (en línea). s.l., s.e. 169 p. Disponible en <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5791/estudio-especies-forestales-poblaciones-reducidas-extinción.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Moraes, KNO; Oliveira, FNL de; Bento, MDC; Mesquita, AGG; Brito, RS de. 2020. Classificação fisiológica de sementes florestais quanto a tolerância à dessecação e armazenamento. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* 15(1):01-05. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i1.6625>.
- Morales, M. 2010. Evaluación de la composición florística, estructura, productividad y estado de conservación de bosques secundarios y maduros del Corredor Biológico Osa, Costa Rica. s.l., s.e. 101 p.
- Morales-Salazar, MS; Vilchez-Alvarado, B; Chazdon, RL; Ortiz-Malavasi, E; Guevara-Bonilla, M. 2013. Estructura, composición y diversidad vegetal en bosques tropicales del Corredor Biológico Osa, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* (506):1-13.
- Newstrom, LE; Frankie, GW; Baker, HG. (1994). A New Classification for Plant Phenology Based on Flowering Patterns in Lowland Tropical Rain Forest Trees at. 26. s.l., s.e.
- Pedrini, S; Dixon, KW. 2020. International principles and standards for native seeds in ecological restoration. *Restoration Ecology* 28(S3):286-303. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13155>.
- Pereira, APC; Secorun, AC. (2007). Estrutura e adaptação das plântulas Structure and adaptation of plantulas. Maringá - PR, s.e.
- Pillco Huarcaya, R., Lobo, SL & Zamora, N.A. 2020. *Paramachaerium gruberi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e. T147350913A148003657. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-1.RLTS.T147350913A148003657.en>. Accessed on 12 August 2023.
- Piña-Rodrigues, FCM; Freire, JM; Leles, PSS; Breier, TB. 2007. Parâmetros Técnicos para Produção de Sementes Florestais. s.l., s.e. 187 p.
- Prance, GT. 1981. Three new species of Couratari (Lecythidaceae). *Brittonia* 33(1):15-21.
- Prance, G. T. 2010. Familia 149. Caryocaraceae. *Flora Mesoamericana*, (3(2), 1-6.
- Pritchard, HW; Daws, MI; Fletcher, BJ; Gamé Né, CS; Msanga, HP; Omondi, W. (2004). Ecological correlates of seed desiccation tolerance in tropical african dryland trees. 91. s.l., s.e.
- Procopio, LC. (2010). Auto-ecologia de espécies de Couratari (Lecythidaceae): Uma abordagem para o manejo e conservacao. Manaus, Amazonas, s.e.
- Quesada, RM. (2007). Los Bosques de Costa Rica. Cartago, Costa Rica., s.e.
- Reis, PCM dos R; Reis, LP; de Souza, AL; Rego, LJS; da Silva, LF. 2016. Taxa de recrutamento e mortalidade de espécies de Lecythidaceae após colheita florestal na amazonia oriental. *Enciclopédia Biosfera* 13(24):970-979. DOI: https://doi.org/10.18677/encibio_2016b_092.
- Rosero Bixby, L; Maldonado-Ulloa, T; Bonilla-Carrión, R. 2002. Bosque y población en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 20:585-598.
- Rosero-Bixby, L; Maldonado-Ulloa, T; Bonilla-Carrión, R. 2002. Bosque y población en la Península de Osa, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 50(2):585-598.

- Sánchez, M. 2013. Protocolo de establecimiento y medición de Parcelas Permanentes de Muestreo en bosque natural. Informe para el Observatorio de Ecosistemas forestales de Costa Rica (OEFO-CR). 47 p.
- Serrano, JD; Delgado, LD; Vílchez, S; Morales, JP. (2018). Manual para el monitoreo ecológico y productivo de bosques secundarios latifoliados de Mesoamérica. Turrialba, Costa Rica, s.e.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). 2020. Áreas Silvestres protegidas. Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). [Http://www.sinac.go.cr/ES/asp/Paginas/default.aspx](http://www.sinac.go.cr/ES/asp/Paginas/default.aspx)
- Solís, S; Lobo, J; Grimaldo, M. 2009. Phenology and recruitment of *Caryocar costarricense* (Caryocaceae), an endemic tree species of Southern Central America. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN 57(3):771-780.*
- Vargas, LMJ. 1992. Estudio de la viabilidad y germinación en semillas de *Paramachaerium gruberi* Brizicky (Sangrillo Negro) bajo condiciones experimentales. David, Chiriqui, Universidad de Panamá. 1-91 p.
- Vargas, L. 2002. El Sangrillo Negro (*Paramachaerium gruberi* Brizicky) especie maderable en peligro de extinción. *Natura* 10:41-43.
- Vargas-Figueroa, JA; Torres-González, AM. 2018. Germination and seed conservation of a pioneer species, *Tecoma stans* (Bignoniaceae), from tropical dry forest of Colombia. *Revista de Biología Tropical* 66(2):918-936. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33423>.
- Vargas-Figueroa, JA; Torres-González, AM. 2018. Germination and seed conservation of a pioneer species, *Tecoma stans* (Bignoniaceae), from tropical dry forest of Colombia. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN 66(2):918-936.*
- Vilchez, B; Chazdon, R; Alvarado, W. 2008. Fenología reproductiva de las especies del dosel en bosques secundarios y primarios de la región Huetar Norte de Costa Rica y su influencia en la regeneración vegetal. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 5(15):1-18.
- Zamora, N.A. & Álvarez, L. 2021. *Couratari scottmorii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T30741A162576251. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T30741A162576251.en>. Accessed on 12 August 2023.