



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**Zonificación ecológica en respuesta al cambio climático para especies forestales
relevantes para restauración en Costa Rica y sus zonas semilleras**

**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

Sandy Brillith Lizana Rojas

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:



Róger Villalobos Soto, M.Sc.
Codirector de tesis

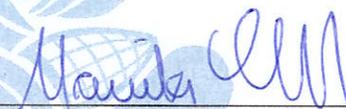


Luis Diego Jiménez Alvarado, M.Sc.
Codirector de tesis

Solutions for Inclusive Green Development
Soluciones para el Desarrollo Verde Inclusivo



Christian Brenes Pérez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



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



Sandy Brillith Lizana Rojas
Candidata

Dedicatoria

A Dios, por darme el regalo más grande: la vida, y acompañarme en todo momento.

A mis padres, Hermógenes Lizana Castillo y Elizabeth Luz Rojas Aquino, quienes me brindaron amor, consejos, guía y apoyo incondicional durante todas las etapas de mi formación personal y profesional.

A mis hermanos, Alex, Zonali y Eroid, por haberme enseñado el verdadero significado de la amistad y complicidad, y quienes siempre han sido mis pilares.

A mis abuelos, tíos y primos, quienes siempre me demostraron aprecio, colaboraron en todo momento y fortalecieron la confianza en mis capacidades.

Agradecimientos

Al CATIE y al Gobierno de Canadá, que, a través del proyecto RESTAURación por el financiamiento del programa de maestría. Y por haberme brindado la oportunidad de una formación académica en esta institución, que admiraba por su prestigio.

A los miembros de mi comité, por su guía y apoyo durante todo el año de estudios y por su cooperación en el diseño y elaboración de la tesis; asimismo, por haber contribuido significativamente en el desarrollo del trabajo; a Luis Diego Jimenez y Roger Villalobos, pues asumieron el rol de codirectores y a Cristian Brenes, por su ayuda en lo referente a sistemas de información geográfica.

A las personas que trabajaron *ad honorem*: Ph. D. Tobias Fremout, investigador de Alliance Bioversity International - CIAT, quien colaboró con todo lo relacionado al modelamiento en R, compartiendo información valiosa e importante para el trabajo y a Arnoldo Alcides, profesor de la universidad Tecnológico de Costa Rica (TEC), quien apoyó con la comprensión y adaptación de los scripts en R.

Al Ph. D. Evert Thomas, investigador de Alliance Bioversity International-CIAT, quien, al momento de solicitarle ayuda, me brindó todo lo que estuvo a su alcance con información bibliográfica y contactos que trabajaron en temas relacionados a esta investigación.

Un agradecimiento especial al Ph. D. Jonathan Cornelius, al Ph. D. José Eloy Cuellar y al MSc. Alfonso Lizárraga Travaglini, personas muy importantes en mi formación profesional y fortalecimiento de capacidades científicas.

A mis compañeros de mi promoción 2022-2023, por darme la oportunidad de compartir muchos momentos, experiencias y hacer un intercambio de cultura y tradiciones de nuestros países. De igual forma, a la promoción 2023-2024 que adicionalmente me enseñaron el verdadero significado de unión, tolerancia, amistad y amor, haciéndome sentir parte de su grupo, incluyéndome en sus actividades.

Contenido

Resumen.....	XII
Abstract.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
2. METODOLOGÍA.....	3
2.1 Modelación de la distribución actual y potencial actual.....	3
2.2 Modelación de distribución bajo escenarios de cambio climático.....	5
2.3 Análisis de cambios.....	5
2.4 Determinación de zonas semilleras actuales y futuras.....	6
3. RESULTADOS.....	7
3.1 Ocurrencia de especies priorizadas.....	7
3.2 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	8
3.3 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Cordia alliodora</i>	10
3.4 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Vochysia ferruginea</i>	12
3.5 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Hieronyma alchorneoides</i>	14
3.6 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Dalbergia retusa</i>	16
3.7 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Samanea saman</i>	18
3.8 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Vochysia guatemalensis</i>	20
3.9 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Cedrela odorata</i>	22
3.10 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Swietenia macrophylla</i>	24
3.11 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de <i>Dipteryx oleifera</i>	26
3.12 Cambios categóricos de la distribución.....	28
3.13 Determinación de zonas semilleras.....	30
4. DISCUSIÓN.....	33
5. CONCLUSIONES.....	33
6. BIBLIOGRAFÍA.....	35
7. ANEXOS.....	39

Lista de cuadros

Cuadro 1. Número de puntos de presencia por especies forestales prioritizadas en Costa Rica. .	7
Cuadro 2. Cambios de áreas idóneas de las especies prioritizadas en escenario de SPP2 4.5 al 2050.	29
Cuadro 3. Cambios de áreas idóneas de las especies prioritizadas en escenario de SPP3 7.0 al 2050.	29

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso metodológico.....	3
Figura 2. Mapa de los registros de presencia de <i>Enterolobium cyclocarpum</i> en Costa Rica según GBIF	8
Figura 3. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	9
Figura 4. Mapa de los registros de presencia de <i>Cordia alliodora</i> en Costa Rica según GBIF	10
Figura 5. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Cordia alliodora</i>	11
Figura 6. Mapa de los registros de presencia de <i>Vochysia ferruginea</i> en Costa Rica según GBIF	12
Figura 7. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Vochysia ferruginea</i>	13
Figura 8. Mapa de los registros de presencia de <i>Hieronyma alchorneoides</i> en Costa Rica según GBIF	14
Figura 9. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Hieronyma alchorneoides</i>	15
Figura 10. Mapa de los registros de presencia de <i>Dalbergia retusa</i> en Costa Rica según GBIF	16
Figura 11. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Dalbergia retusa</i>	17
Figura 12. Mapa de los registros de presencia de <i>Samanea saman</i> en Costa Rica según GBIF	18
Figura 13. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Samanea saman</i>	19
Figura 14. Mapa de los registros de presencia de <i>Vochysia guatemalensis</i> en Costa Rica según GBIF	20
Figura 15. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Vochysia guatemalensis</i>	21

Figura 16. Mapa de los registros de presencia de <i>Cedrela odorata</i> en Costa Rica según GBIF	22
Figura 17. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Cedrela odorata</i>	23
Figura 18. Mapa de los registros de presencia de <i>Swietenia macrophylla</i> en Costa Rica según GBIF	24
Figura 19. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Swietenia macrophylla</i>	25
Figura 20. Mapa de los registros de presencia de <i>Dipteryx oleifera</i> en Costa Rica según GBIF	26
Figura 21. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de <i>Dipteryx oleifera</i>	27
Figura 22. Zonas semilleras (n=20) en Costa Rica bajo las condiciones climáticas actuales (panel de mayor tamaño) y bajo condiciones climáticas futuras (paneles pequeños) para la década de 2050 y escenario de emisiones SPP2 4.5.	31
Figura 23. Zonas semilleras (n=20) en Costa Rica bajo las condiciones climáticas actuales (panel de mayor tamaño) y a condiciones climáticas futuras (paneles pequeños) para la década de 2050 y escenario de emisiones SSP3 7.0.	32

Anexos

Anexo 1. Especies forestales priorizadas por su importancia en restauración con diversos fines en Costa Rica.	39
Anexo 2. Variables bioclimáticas de WorldClim.	40
Anexo 3. Variables edáficas de SoilGrids v1.	40
Anexo 4. Variables topográficas del paquete ráster en R.	40
Anexo 5. Representación de las curvas ROC y el AUC.	41
Anexo 6. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Enterolobium cyclocarpum</i> a escenario SSP2 al 2050.	42
Anexo 7. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Enterolobium cyclocarpum</i> a escenario SSP3 al 2050.	43
Anexo 8. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Cordia alliodora</i> a escenario SSP2 al 2050.	44
Anexo 9. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Cordia alliodora</i> a escenario SSP3 al 2050.	45
Anexo 10. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia ferruginea</i> a escenario SSP2 al 2050.	46
Anexo 11. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia ferruginea</i> a escenario SSP3 al 2050.	47

Anexo 12. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Hieronyma alchorneoides</i> a escenario SSP2 al 2050.....	48
Anexo 13. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Hieronyma alchorneoides</i> a escenario SSP3 al 2050.....	49
Anexo 14. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dalbergia retusa</i> a escenario SSP2 al 2050.....	50
Anexo 15. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dalbergia retusa</i> a escenario SSP3 al 2050.....	51
Anexo 16. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Samanea saman</i> a escenario SSP2 al 2050.	52
Anexo 17. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Samanea saman</i> a escenario SSP3 al 2050.	53
Anexo 18. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia guatemalensis</i> a escenario SSP2 al 2050.....	54
Anexo 19. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia guatemalensis</i> a escenario SSP3 al 2050.....	55
Anexo 20. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Cedrela odorata</i> a escenario SSP2 al 2050.	56
Anexo 21. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Cedrela odorata</i> a escenario SSP3 al 2050.	57
Anexo 22. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Swietenia macrophylla</i> a escenario SSP2 al 2050.....	58
Anexo 23. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Swietenia macrophylla</i> a escenario SSP3 al 2050.....	59
Anexo 24. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dipteryx oleifera</i> a escenario SSP2 al 2050.....	60
Anexo 25. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dipteryx oleifera</i> a escenario SSP3 al 2050.....	61
Anexo 26. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Enterolobium cyclocarpum</i> a escenario SSP2 al 2050.....	62
Anexo 27. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Enterolobium cyclocarpum</i> a escenario SSP3 al 2050.....	62
Anexo 28. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Cordia alliodora</i> a escenarios SSP2 y SSP3 al 2050.	63
Anexo 29. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia ferruginea</i> a escenario SSP2 al 2050.....	64
Anexo 30. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia ferruginea</i> a escenario SSP3 al 2050.....	64
Anexo 31. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Hieronyma alchorneoides</i> a escenario SSP2 al 2050.....	65

Anexo 32. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Hieronyma alchorneoides</i> a escenario SSP3 al 2050.....	65
Anexo 33. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dalbergia retusa</i> a escenario SSP2 al 2050.....	66
Anexo 34. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dalbergia retusa</i> a escenario SSP3 al 2050.....	66
Anexo 35. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Samanea saman</i> a escenario SSP2 al 2050.....	67
Anexo 36. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Samanea saman</i> a escenario SSP3 al 2050.....	67
Anexo 37. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia guatemalensis</i> a escenario SSP2 al 2050.....	68
Anexo 38. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Vochysia guatemalensis</i> a escenario SSP3 al 2050.....	68
Anexo 39. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Cedrela odorata</i> a escenario SSP2 al 2050.....	69
Anexo 40. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Cedrela odorata</i> a escenario SSP3 al 2050.....	69
Anexo 41. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Swietenia macrophylla</i> a escenario SSP2 al 2050.....	70
Anexo 42. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Swietenia macrophylla</i> a escenario SSP3 al 2050.....	70
Anexo 43. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dipteryx oleifera</i> a escenario SSP2 al 2050.....	71
Anexo 44. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para <i>Dipteryx oleifera</i> a escenario SSP3 al 2050.....	71

Lista de acrónimos, abreviaturas y unidades

ACAHN	Área de Conservación Arenal Huetar Norte
ACAT	Área de Conservación Arenal Tempisque
ACC	Área de Conservación Central
ACG	Área de Conservación Guanacaste
ACLAC	Área de Conservación La Amistad Caribe
ACLAP	Área de Conservación La Amistad Pacífico
ACMC	Área de Conservación Marina Coco
ACOPAC	Área de Conservación Pacífico Central
ACOSA	Área de Conservación Osa
ACT	Área de Conservación Tempisque
ACTo	Área de Conservación Tortuguero
AUC	Área bajo curva
°C	Grados Celsius
BIEN	<i>Botanical Information and Ecology Network</i>
CCAFS	<i>Climate Change, Agriculture and Food Security</i>
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas
CMIP6	<i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 6</i>
Cob. Nat	Cobertura natural
CO ₂	Dióxido de carbono
D4R	Diversidad para la restauración
EARTH	<i>Splines</i> de regresión adaptativa multivariante
FDA	Análisis discriminante flexible
GAMSTEP	Modelos aditivos generalizados
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GBM	Modelos de regresión potenciada generalizada
GCM	Modelo de circulación general
GEI	Gases de efecto invernadero
GLMSTEP	Modelos lineales generalizados
ha	Hectárea
IMN	Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

IPBES	<i>Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISRIC	<i>International Soil Reference and Information Centre</i>
km	Kilómetro
m	Metro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
M_secos	Meses secos
MaxEnt	Máxima entropía
MEA	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
MGCV	<i>Mixed GAM Computation Vehicle</i>
mm	Milímetros
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OE.	Objetivo específico
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PCA	Análisis de Componentes Principales
PCs	Componentes principales
Pt – media	Precipitación media
RF	<i>Random forests</i>
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SSP	<i>Shared Socioeconomic Pathways</i>
SVM	Soporte de máquinas de vectores
VIF	<i>Variance inflation factor</i>
W/m ²	Vatio por metro cuadrado

Zonificación ecológica en respuesta al cambio climático para especies forestales relevantes para restauración en Costa Rica y sus zonas semilleras

Lizana Rojas, Sandy Brillith (Sandy.Lizana@catie.ac.cr)

Resumen

El cambio climático representa uno de los desafíos globales más críticos, ya que pone en grave riesgo la conservación de la biodiversidad. Este fenómeno acelera las variaciones en las condiciones abióticas, lo que a su vez altera significativamente la biogeografía de diversas especies. Dentro de sus consecuencias se encuentra la pérdida de áreas de idoneidad de hábitat, de las cuales las especies locales son las más vulnerables.

Este trabajo se enfoca en modelar el efecto del cambio climático sobre la idoneidad de hábitat actual de fuentes semilleras de especies forestales priorizadas para restauración y evaluar las implicaciones en cada área de conservación en Costa Rica. Para ello, se consideró la lista de especies priorizadas por los líderes de los bancos de semillas centroamericanos y la Comisión Nacional de Cultivos de Especies Nativas (CONACEN). Tales especies se establecieron como relevantes para Costa Rica debido a su uso multifuncional con fines de producción y conservación. Estas fueron: *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Dalbergia retusa*, *Samanea saman*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea*, *Hieronyma alchorneoides*, *Dipteryx oleifera*. Se utilizó el paquete BiodiversityR para modelar la idoneidad del hábitat, identificando la distribución espacial, el potencial actual y la distribución potencial futura; es decir, bajo escenarios de cambio climático SSP2 y SSP3 con un horizonte temporal de hasta 2050.

Los mapas resultantes se categorizaron para comparar zonas de ganancia, pérdida y permanencia y se determinaron las zonas de semillas y su variación espacial bajo escenarios de cambio climático. Los resultados indican un impacto considerable del cambio climático en la distribución espacial y la pérdida de áreas de aptitud de las especies en estudio, tal es el caso de *Vochysia ferruginea* y *Vochysia guatemalensis* con pérdidas de área del 19.84 % y el 14.97 % en el escenario SSP2 y un 18.03 %, un 16.60 % en SSP3; mientras que las ganancias no alcanzan el 1 %.

La información ecológica del estudio puede guiar prácticas adecuadas de manejo forestal frente al cambio climático. Puede funcionar como herramienta de apoyo para la restauración climáticamente inteligente mediante el establecimiento de fuentes de semillas que se adapten mejor a las condiciones futuras del sitio y a los objetivos de restauración en Costa Rica.

Palabras clave

Cambio climático, modelado de distribución de especies, MaxEnt, restauración, zonas de semillas, diversidad genética.

Ecological zoning in response to climate change for forest species relevant for restoration in Costa Rica and its seed zones

Lizana Rojas, Sandy Brillith (Sandy.Lizana@catie.ac.cr)

Abstract

Climate change represents one of the most critical global challenges, putting the conservation of biodiversity at serious risk. This phenomenon accelerates variations in abiotic conditions, which in turn significantly alters the biogeography of various species, causing the loss of areas of habitat suitability, with local species being the most vulnerable.

This work focuses on modeling the effect of climate change on the current habitat suitability of seed sources of forest species prioritized for restoration and evaluating the implications in each conservation area in Costa Rica. For this, the list of species prioritized by the leaders of the Central American seed banks and the National Commission for Native Species Crops (CONACEN) was considered, which were established as relevant species for Costa Rica due to their multifunctional use for production purposes. and conservation, these were: *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Dalbergia retusa*, *Samanea saman*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea*, *Hieronyma alchorneoides*, *Dipteryx oleifera*. The BiodiversityR package was used to model habitat suitability, identifying spatial distribution, current potential and future potential distribution; that is, under SSP2 and SSP3 climate change scenarios with a time horizon until 2050.

The resulting maps were categorized to compare zones of gain, loss and permanence and the seed zones and their spatial variation under climate change scenarios were determined. The results indicate a considerable impact of climate change on the spatial distribution and loss of suitability areas of the species under study, such as the case of *Vochysia ferruginea* and *Vochysia guatemalensis* with area losses of 19.84 % and 14.97 % in the SSP2 scenario. and 18.03 %, 16.60 % in SSP3, while the profits do not reach 1 %.

This ecological information from the study can guide appropriate forest management practices in the face of climate change, being a support tool for climate-smart restoration by establishing seed sources that are best adapted to future site conditions and restoration objectives in Costa Rica.

Key words

Climate change, species distribution modelling, MaxEnt, restoration, seed zones, genetic diversity.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas proveen servicios esenciales a la humanidad, como se destaca en los aportes de provisión, regulación, soporte y de carácter cultural (MEA 2005). La Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés) redefine conceptos y prioridades de la biodiversidad y servicios ecosistémicos, enfocándose en la formulación de políticas públicas y toma de decisiones de los diferentes actores, entidades y organismos internacionales para promover las sinergias y complementariedad en pro de la conservación de los aportes de los ecosistemas a la humanidad (Díaz *et al.* 2015). Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), a través de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, subraya metas para la protección del planeta, incluida la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

El cambio climático, definido como la variación acelerada de condiciones abióticas (IPCC 2014), está ocasionando anomalías y eventos extremos y la biogeografía de algunas especies se ve alterada. Esta situación influye para que la biodiversidad se reduzca, pues no todas las especies tienen la misma capacidad de resistencia o resiliencia. Resultan particularmente más vulnerables las especies endémicas (Vergara *et al.* 2014; Uribe-Botero 2015).

La distribución actual de las especies está compuesta por las localizaciones puntuales de la ocurrencia o presencia de la especie y es determinada por factores abióticos, como suelo, topografía y clima. Según Gómez *et al.* 2016, las variables climáticas son las que más inciden en la presencia de las especies. En este sentido, se denomina distribución potencial actual a la predicción de la distribución de la especie, tras la identificación de áreas que cuentan con condiciones ambientales similares a las de la distribución actual de una especie (Pearson 2008; Sofaer *et al.* 2019).

La idoneidad de hábitat consiste en la distribución espacial del hábitat adecuado de cierta especie. Dicha idoneidad es modelada a partir de la correlación de las ubicaciones de presencia de especies con las condiciones ambientales favorables para su desarrollo en un espacio determinado (Fremout *et al.* 2022). Dicha idoneidad fluctúa de 0 a 1 y se categoriza en niveles de nula (<0.25), baja ($0.25 - 0.50$), intermedia ($0.5 - 0.75$) y alta ($0.75 - 1$) (Merow *et al.* 2013; Wan *et al.* 2017).

Finalmente, la distribución potencial futura se define como la predicción de presencia de la especie en un territorio tras someterla a condiciones ambientales futuras (Pearson 2008), establecidas por escenarios de cambio climático y un horizonte temporal (Fremout *et al.* 2022).

Los escenarios de cambio climático, que responden al “qué pasaría si...”, surgen a partir de las simulaciones por parte del CMIP6. De tal manera, se diseñaron los escenarios SSP (*Shared Socioeconomic Pathways*), basados en emisiones de GEI en los diferentes desarrollos socioeconómicos y los desafíos para la mitigación y la adaptación del cambio climático (IPCC 2014; IPCC 2022). Se cuentan con cinco escenarios, los cuales van de optimistas a muy pesimistas: SSP1 1.9, SSP1 2.6, SSP2 4.5, SSP3 7.0 y SSP5 8.5.

Frente al panorama del cambio climático y sus implicancias en los ecosistemas, específicamente en la dinámica de la distribución futura de las especies y la pérdida de idoneidad de hábitat, hay

un auge de proyectos de restauración de paisajes que buscan conservar la biodiversidad y recuperar los servicios ecosistémicos mediante técnicas variadas. Sin embargo, estos esfuerzos enfrentan retos, como la poca disponibilidad de semillas o la falta de información sobre la distribución actual de las fuentes semilleras y las variaciones que tendrán frente a los escenarios del cambio climático (Walck *et al.* 2011; Dayrell *et al.* 2016; Jalonen *et al.* 2017; Atkinson *et al.* 2021).

El estado del arte revela que hay trabajos llevados a cabo en México (Gómez *et al.* 2007; Pacheco *et al.* 2022), en Colombia (Thomas *et al.* 2017; Fremout *et al.* 2021; Fremout *et al.* 2022), región norte y amazónica del Perú (Ceccarelli *et al.* 2020), el sur de Ecuador, Burkina Faso y Camerún. Además, en investigaciones expuestas en el XV Congreso Forestal Mundial - Corea, se presentaron los avances en África occidental (Adjonou *et al.* 2020); para bosques templados en Corea del Sur (Lee *et al.* 2021); asimismo, en Benin (Assogba *et al.* 2022).

En Costa Rica, hay pocas investigaciones acerca de la zonificación ecológica de las fuentes semilleras de especies forestales para fines de conservación, protección y producción. Los trabajos más cercanos que se han llevado a cabo son los estudios de mapeo de prioridades de conservación y vías de conectividad bajo el cambio climático para los ecosistemas tropicales (Fung *et al.* 2016) y el atlas de aptitud de especies agroforestales para Centroamérica (de Souza *et al.* 2017).

En marco del proyecto de RESTAURación, financiado por el Gobierno de Canadá, se pretende llevar a cabo investigaciones y programas destinados a potenciar el éxito de la restauración de paisajes con fines de conservación de la biodiversidad y los servicios que dicho territorio otorga.

Por lo tanto, resulta crucial evaluar el impacto de los futuros escenarios climáticos en la distribución de las fuentes de semilla, así como proporcionar información de gran utilidad para las personas y entidades ejecutoras de proyectos de restauración.

Se llevó a cabo la zonificación ecológica de fuentes semilleras para facilitar los procesos de recolección de semillas en cada una de las áreas de conservación y, a su vez, se determinó el posible cambio de idoneidad de hábitat actual ante los escenarios del cambio climático más probables a ocurrir.

1.1 Objetivo general

Modelar el efecto del cambio climático sobre la idoneidad de hábitat actual de fuentes semilleras de especies forestales priorizadas para restauración y evaluar las implicaciones en cada área de conservación en Costa Rica.

1.2 Objetivos específicos

- Generar los mapas de disponibilidad, distribución y características ecológicas de las fuentes semilleras actuales de las especies de estudio en Costa Rica.
- Modelar la distribución potencial bajo escenarios de cambio climático de las fuentes semilleras en Costa Rica.
- Analizar los cambios de distribución espacial actual, potencial actual y potencial bajo escenarios de cambio climático de las fuentes semilleras en Costa Rica.

2. METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en Costa Rica, país ubicado en Centroamérica, aproximadamente entre los 8° y 11° de latitud norte y los 83° y 86° de longitud oeste. Limita al norte con Nicaragua y al sur con Panamá. Cuenta con una superficie terrestre de 51.100 km². Se ha estimado que posee cerca de medio millón de especies de todos los grupos taxonómicos, lo equivalente al 3,6 % de los 13 a 14 millones de especies esperadas para el planeta (SINAC 2015). El Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica, para efectos de coordinación administrativa, divide todo el territorio nacional en Áreas de Conservación, que son entonces delimitaciones geográficas correspondientes a divisiones administrativas. Este estudio realiza los análisis de distribución e idoneidad para cada una de las especies respecto a Áreas de Conservación.

Con el propósito de realizar la zonificación ecológica en respuesta al cambio climático para especies forestales relevantes para restauración en Costa Rica y sus zonas semilleras, se llevaron a cabo varios procesos que incluyeron la modelación de distribución potencial actual, modelación de distribución bajo escenarios de cambio climático en el programa R, el análisis de cambios haciendo uso de QGIS 3.24 y la determinación de zonas semilleras (Figura 1) en R.

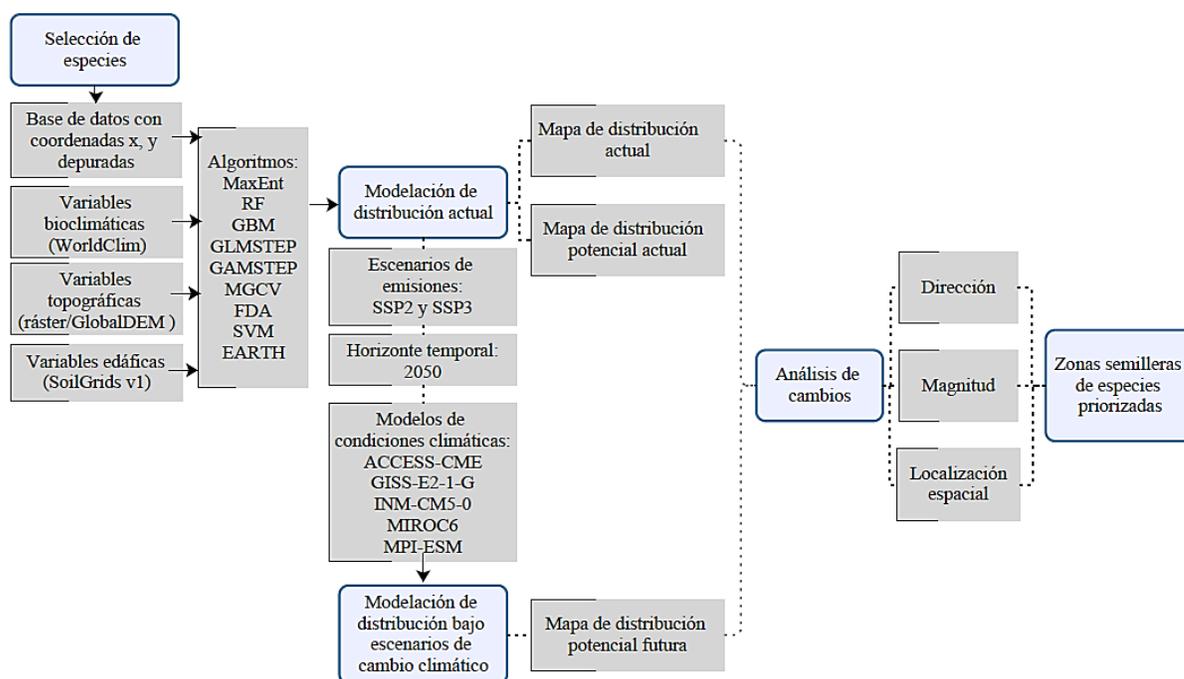


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso metodológico
Fuente: elaboración propia.

2.1 Modelación de la distribución y el potencial actuales

Se tomó la selección de especies forestales prioritizadas por los representantes de la Comisión Nacional de Cultivos de Especies Nativas (CONACEN) y sus miembros CATIE, SINAC, INISEFOR de la Universidad Nacional, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Oficina Nacional Forestal (ONF), Cámara Forestal Madera e Industria, UNED y FONAFIFO, cuyos criterios para

la selección han sido la relevancia de la especie en proyectos de reforestación con fines de conservación, protección o producción de madera en Costa Rica (Mesén y Jiménez 2022).

Se descargaron los puntos de presencia de las especies priorizadas desde bases de datos como *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) (Ceccarelli *et al.* 2020; Fremout *et al.* 2021; Fremout *et al.* 2022). Se contó así con las localizaciones puntuales de las especies, las cuales pasaron por un proceso de depuración, pues se eliminaron datos de coordenadas dentro de áreas urbanas, coordenadas imprecisas, datos anteriores a 1950 y aquellos con discrepancia de país.

Con el fin de lograr la predicción de la distribución potencial de las especies, se requirió identificar áreas con condiciones ambientales similares a las de la distribución actual de las especies.

Las condiciones ambientales se definieron con base en

- Datos de ocurrencia, resultantes de la fase anterior (depurados).
- Variables bioclimáticas de la base de datos de WorldClim (Fick y Hijmans 2017) a una resolución de 1 km (Fung *et al.* 2017; Adjonou *et al.* 2020; Ceccarelli *et al.* 2020; Lee *et al.* 2021). Se consiguieron 19 variables (Anexo 2).
- Variables edáficas de la base de datos de SoilGrids v.1 (Hengl *et al.* 2014). Se contó con 9 variables (Anexo 3).
- Variables topográficas conseguidas mediante el paquete ráster de Global DEM en el programa R. Estas fueron 5 variables (Anexo 4).

Con el objetivo de evitar la colinealidad de variables, se utilizó la prueba de Jackknife, la cual indicó la importancia de los factores ambientales que determinan el hábitat de las especies en estudio (Braunisch *et al.* 2013; Ceccarelli *et al.* 2020). Por tal motivo, se excluyeron 8 variables bioclimáticas que no eran representativas o simplemente tenían redundancia de información.

El modelamiento de distribución potencial actual se realizó por medio del paquete BiodiversityR para R (Kindt 2018; Ceccarelli *et al.* 2020) compuesto por 9 algoritmos: máxima entropía (MaxEnt); *random forests* (RF); modelos de regresión potenciada generalizada (GBM); modelos lineales generalizados (GLMSTEP); modelos aditivos generalizados (GAMSTEP, MGCV); análisis discriminante flexible (FDA); soporte de máquinas de vectores (SVM); *spline* de regresión adaptativa multivariante (EARTH). Dichos algoritmos tienen el mismo propósito de la máxima entropía (MaxEnt), que utiliza mínimos datos de presencia a fin de inferir áreas potenciales para distribución y establecimiento de especies (Cotrina 2020).

A partir de las coincidencias de los algoritmos, se generaron los modelos cuya evaluación de confiabilidad se hizo con los parámetros de AUC y cv-AUC (Anexo 5) (Pearson 2008).

La curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*) se generó como representación gráfica de la relación de la sensibilidad y especificidad del modelo, que se calcula a través de las tasas de verdaderos positivos y falsos positivos. El AUC (área bajo curva) indica cuánto de la distribución obtenida corresponde a los puntos de presencia. La valoración oscila entre 0 y 1, donde los valores menores a 0.5 indican bajo desempeño del modelo, y cercanos a 1, significan alto desempeño (Ceccarelli *et al.* 2020). El cv-AUC (*cross validated-AUC*) calcula estimaciones

validadas cruzadas K-fold del área bajo la curva de características de operación del receptor (ROC), lo cual se puede interpretar como la probabilidad de que un caso seleccionado al azar tenga un riesgo predicho más alto que un control seleccionado al azar.

Las salidas de esta modelación son mapas de idoneidad de hábitat para cada especie, los mismos que están en formato “tif” bajo una valoración de 0 a 1ny categorizados en cuatro niveles: los valores < 0.25 indican áreas de idoneidad nula, valores entre 0.25 y 0.50 representan áreas de idoneidad baja de hábitat, valores entre 0.50 y 0.75 se codificaron como áreas de idoneidad media de hábitat y valores superiores a 0.75 indicaron áreas de alta idoneidad de hábitat (Merow *et al.* 2013; Wan *et al.* 2017). Adicionalmente, se cuentan con mapas de presencia y ausencia, en formato “tif” con una valoración binaria 0 y 1.

2.2 Modelación de distribución bajo escenarios de cambio climático

Se consideró como horizonte temporal las proyecciones al 2050 (2040-2060), a fin de abarcar un periodo de corto plazo; además, dos escenarios de emisiones: SPP2 4.5 (intermedio) y SSP3 7.0 (pesimista), que son los más probables de ocurrir (IPCC 2022). Las características de los escenarios elegidos son las siguientes:

- Escenario SSP2 4.5: corresponde al escenario intermedio. Los factores socioeconómicos siguen las tendencias históricas, no hay cambios notables, el avance hacia la sostenibilidad es lento y el desarrollo e ingresos crecen de manera desigual, el forzamiento radiativo de 4.5 W/m², las emisiones de CO₂ que se reducirían a cero para el 2100. El calentamiento global llegaría y se estabiliza a 2.7°C más para fin de siglo.
- Escenario SSP3 7.0: denominado como escenario pesimista. El resurgimiento del nacionalismo y conflictos regionales, la desigualdad aumenta y los temas globales son desplazados a un segundo plano; entonces, algunas regiones sufren daños ambientales de manera drástica, el forzamiento radiativo de 7.0 W/m², emisiones de CO₂ que se reducirían a cero para años posteriores al 2050. El calentamiento global llegaría y se estabiliza a 3.6°C más para finales del siglo.

Para la caracterización de las condiciones climáticas futuras, se usaron modelos de circulación general – MCG. Según de Souza *et al.* 2017, son modelos numéricos que representan procesos físicos en la atmósfera, océano, criósfera y superficies terrestres, por lo que es una herramienta disponible más avanzada para simular la respuesta de un sistema global en el incremento de las concentraciones de los GEI.

Dichos MCG se obtuvieron gracias a la información del portal de cambio de la CCAFS (*Climate Change, Agriculture and Food Security*): ACCESS-CME, GISS-E2-1-G, INM-CM5-0, MIROC6 y MPI-ESM1-2-HR. Además, se consideraron las variables edáficas y topográficas, las cuales se mantuvieron estables. Las salidas de esta modelación son mapas de distribución potencial futura, en formato “tif” con valores binarios de 0 y 1, de lo que resultan 10 mapas por especie.

2.3 Análisis de cambios

El objetivo de esta fase fue evaluar los cambios entre los mapas de distribución potencial actual y bajo escenarios climáticos futuros. Debido a que se contaban con varios mapas de distribución potencial futura por MCG para cada especie, se decidió someter a los mapas a un análisis ráster

booleano AND, algoritmo que hace la comparación de pixel por pixel de un conjunto de rásteres de entrada. La lógica con la que trabaja permite que se produzca una nueva capa que contenga los pixeles que se superponen en ambas capas. Tras esta operación, se resumió a un solo mapa, en formato “tif” con valores binarios de 0 y 1, de distribución potencial futura SSP2 y otro de SSP3, ambos con la información de los 5 MCG.

Se instaló el complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* de Qgis, y las capas fueron analizadas mediante la función *cross classification*, a fin de analizar las características de los cambios entre el mapa de distribución potencial actual y cada mapa de distribución futura por escenario (resultados de la fase anterior). Las salidas de esta fase fueron mapas, en formato “tif”, cuyos valores fueron recategorizados en áreas donde no hubo variación (0 – 0, no hubo idoneidad ni habrá en el futuro) representó “idoneidad nula”; el cambio tipo 1 (1 – 0, hubo idoneidad, pero en el futuro ya no) equivalía a “pérdidas”; el cambio tipo 2 (0 – 1, no hubo idoneidad, pero en el futuro sí) reflejó “ganancias” y el último caso donde tampoco hubo variación (1-1, hubo idoneidad y en el futuro también tendrá idoneidad) representó la “permanencia”. De esta manera, se logró elaborar mapas de los cambios mencionados, con un color diferente para cada caso.

Seguidamente, se utilizó la función de “histograma zonal” de Qgis. Este algoritmo añade campos que representan el número de cada valor único de una capa ráster contenida dentro de zonas definidas como polígonos. Las entradas para este ejercicio fueron los mapas de cambios (resultado anterior) y la capa vectorial de áreas de conservación; de esta manera, se obtuvieron los cambios respecto a ellas.

2.4 Determinación de zonas semilleras actuales y futuras

Para la determinación de las zonas semilleras actuales, se usó el programa R. Las entradas fueron los escenarios SSP2 y SSP3, los 5 MCG, las variables climáticas, edáficas y topográficas, además de la capa ráster del área de estudio.

Se construyeron zonas semilla geoambientales con CLARA (*Clustering Large Applications*), una extensión para grandes conjuntos de datos del algoritmo de partición alrededor de medoides (PAM), que hizo un análisis de características ecológicas por medio de componentes principales (PCA) y *clustering*.

El PCA se utiliza para reducir la dimensionalidad de los datos y el *clustering* se utiliza para agrupar objetos similares; sin embargo, también se pueden utilizar juntos para explorar patrones en los datos y detectar grupos de objetos similares (Ceccarelli *et al.* 2020; Fremout *et al.* 2021).

La determinación de zonas semilleras futuras (es decir, bajo escenarios de cambio climático) se realizó siguiendo el mismo proceso para las zonas semilleras actuales, la única diferencia fue que se usaron las variables climáticas proyectadas a los escenarios futuros.

Las salidas de este proceso fue el mapa de zonas semilleras en Costa Rica y 10 mapas de zonas semilleras futuras, 5 proyectados a escenario SSP2 y otros 5 a SSP3, cuyas zonas fueron coloreadas al azar. Tras una comparación de zonas semilleras actuales y futuras, es crucial identificar si se tratan de zonas semilleras apropiadas o en zonas semilleras dinámicas.

Se define zonas semilleras apropiadas a aquellas que, pese a las variaciones de las condiciones abióticas a raíz del cambio climático, mantienen la idoneidad; mientras tanto, las zonas

semilleras dinámicas son las que tendrán cambios que en la actualidad pueden denominarse zona 1, en condiciones de SSP2, pueden ser zona 2 y de SSP3, zona 3 (Fremout *et al.* 2021).

3. RESULTADOS

3.1 Ocurrencia de especies priorizadas

De la selección de especies para reforestación impulsada por la Comisión Nacional de Cultivos de Especies Nativas (CONACEN) se derivó la decisión de las primeras 10 especies forestales más relevantes para proyectos de restauración con fines productivos en Costa Rica. Las características detalladas de estas especies son presentadas en el cuadro del Anexo 1.

A partir de la descarga de los puntos de presencia de las 10 especies priorizadas para Costa Rica, se identificaron registros de datos de ocurrencias que ascienden a 1026.

Para los siguientes subprocesos, estos datos fueron sometidos a una depuración (cuyos criterios se mencionaron en la metodología); por lo que, el total de número de los registros se redujeron a 895. En el Cuadro 1, se muestra el total de los puntos de presencia por cada especie priorizada.

Cuadro 1. Número de puntos de presencia por especies forestales priorizadas en Costa Rica.

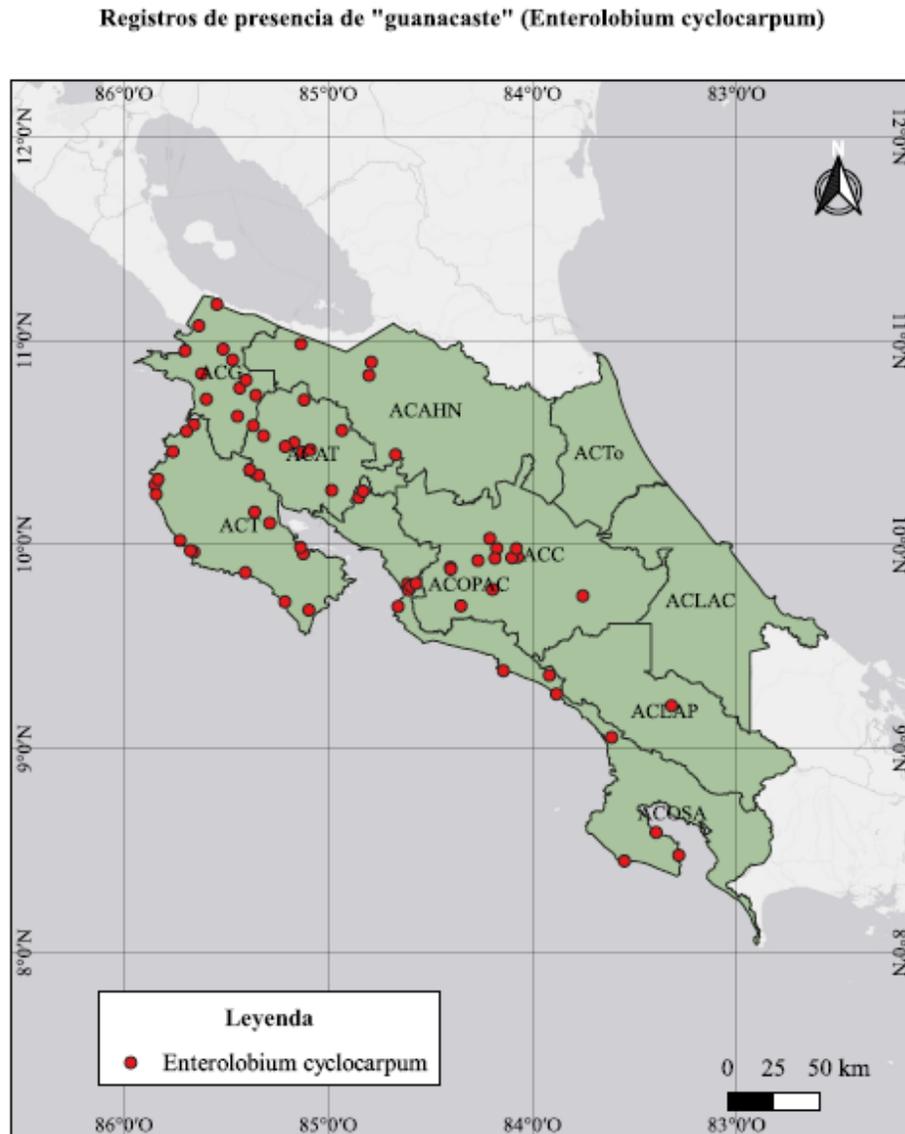
Especies priorizadas	N.º registros
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	144
<i>Cordia alliodora</i>	110
<i>Vochysia ferruginea</i>	109
<i>Hieronyma alchorneoides</i>	97
<i>Dalbergia retusa</i>	87
<i>Samanea saman</i>	86
<i>Vochysia guatemalensis</i>	81
<i>Cedrela odorata</i>	76
<i>Swietenia macrophylla</i>	58
<i>Dipteryx oleifera</i>	47

Fuente: elaboración propia.

Este proceso de depuración aseguró la calidad y precisión de los datos, eliminando registros que no cumplieran con los criterios definidos, como coordenadas dentro de áreas urbanas, datos imprecisos, registros anteriores a 1950 y aquellos con discrepancia de país. La depuración contribuyó a obtener un conjunto de datos más confiables y representativos para la modelación subsiguiente.

3.2 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Enterolobium cyclocarpum*

La distribución actual de *Enterolobium cyclocarpum*, árbol de guanacaste, está compuesta por 144 puntos de coordenadas geográficas que corresponden a los árboles georreferenciados en la mayoría de las áreas de conservación, a excepción de Área de Conservación La Amistad Caribe y Área de Conservación Tortuguero (Figura 2).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 2. Mapa de los registros de presencia de *Enterolobium cyclocarpum* en Costa Rica según GBIF

La Figura 3 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Enterolobium cyclo carpum*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0.05 y 0.84; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad media y alta en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Arenal Tempisque, Área de Conservación Pacífico Central y Área de Conservación Central; e idoneidad media y baja en Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Tortuguero, Área de Conservación La Amistad Pacífico y Área de Conservación Osa; y las demás áreas de conservación restantes presentan idoneidad baja o nula.

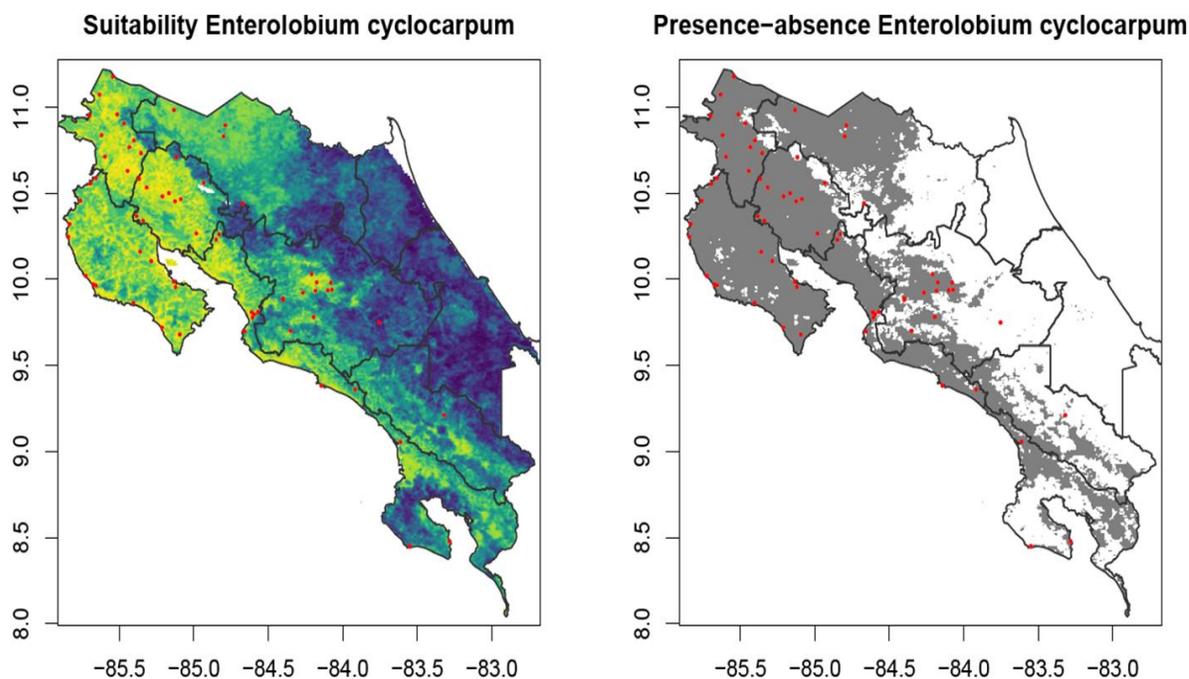


Figura 3. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Enterolobium cyclo carpum*

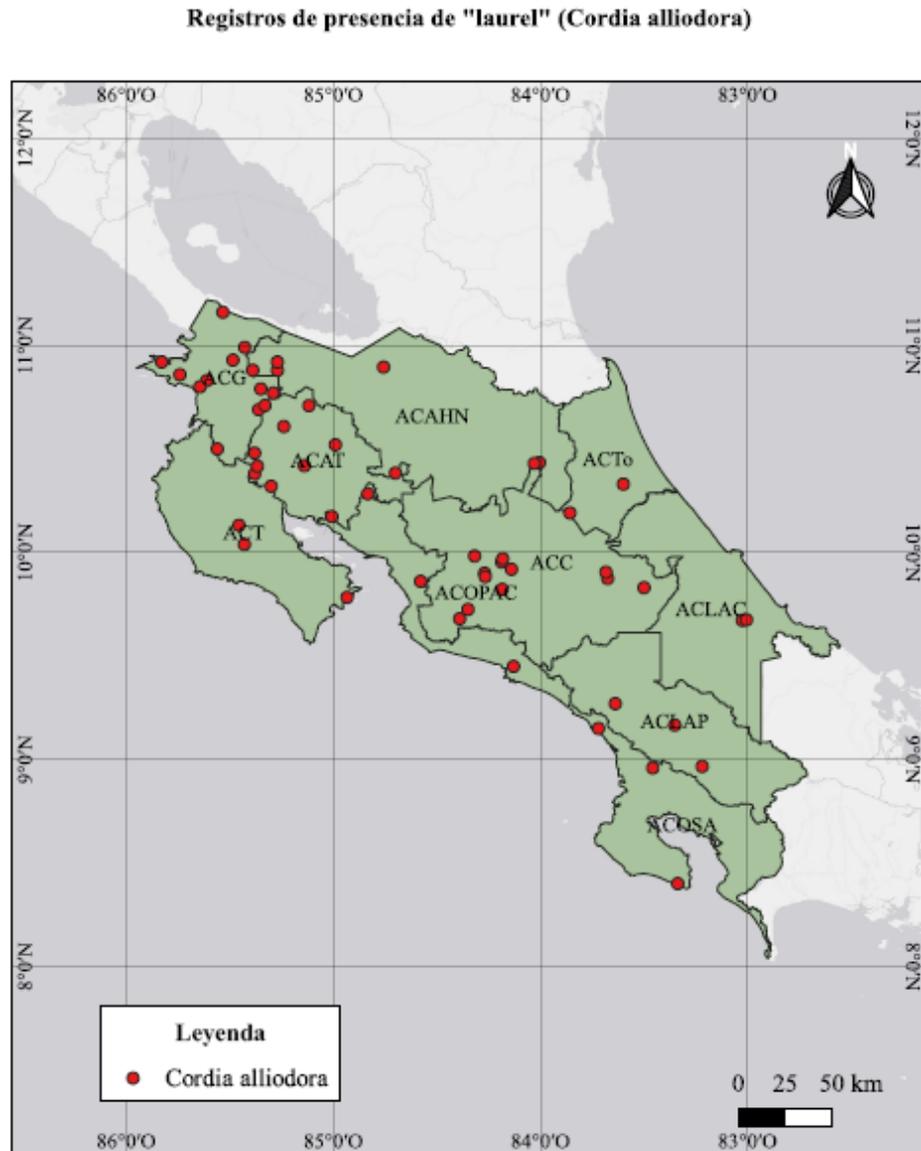
Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a “presencia” y blanco a “ausencia”.

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un AUC = 0.73 y cv-AUC = 0.64. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: pH del suelo (54.88 %), bio 17 - precipitación en el trimestre más seco (mm) (30.50 %) y la profundidad del nivel freático (7.83 %).

3.3 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Cordia alliodora*

La distribución actual de *Cordia alliodora*, laurel, es constituida por 110 puntos de coordenadas geográficas, correspondiente a los árboles georreferenciados que se encuentran predominantemente en la vertiente del Pacífico (Figura 4).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 4. Mapa de los registros de presencia de *Cordia alliodora* en Costa Rica según GBIF

La Figura 5 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Cordia alliodora*. La idoneidad de hábitat en las condiciones actuales oscila entre 0.45 y 0.68; entonces, se observa que la especie presenta una idoneidad media en Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Arenal Tempisque, Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Pacífico Central, Área de Conservación Arenal Huetar Norte y Área de Conservación La Amistad Pacífico; y con menor idoneidad en Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación La Amistad Caribe y Área de Conservación Tortuguero de la zona noreste y este del país.

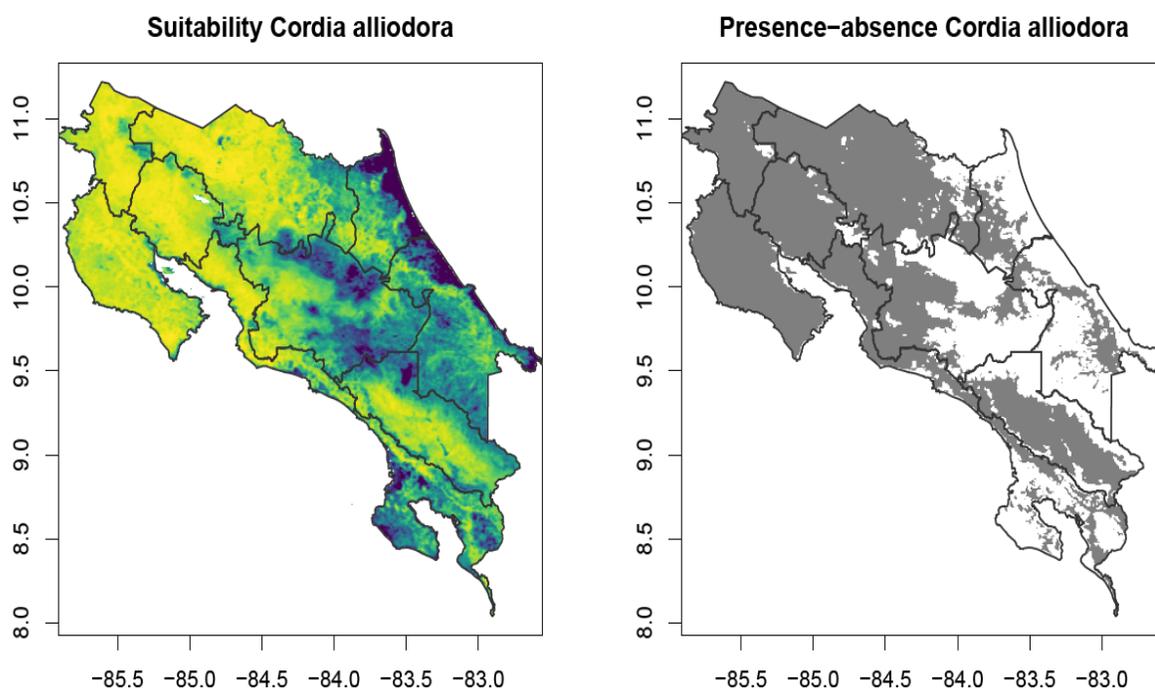


Figura 5. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Cordia alliodora*

Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a “presencia” y blanco a “ausencia”.

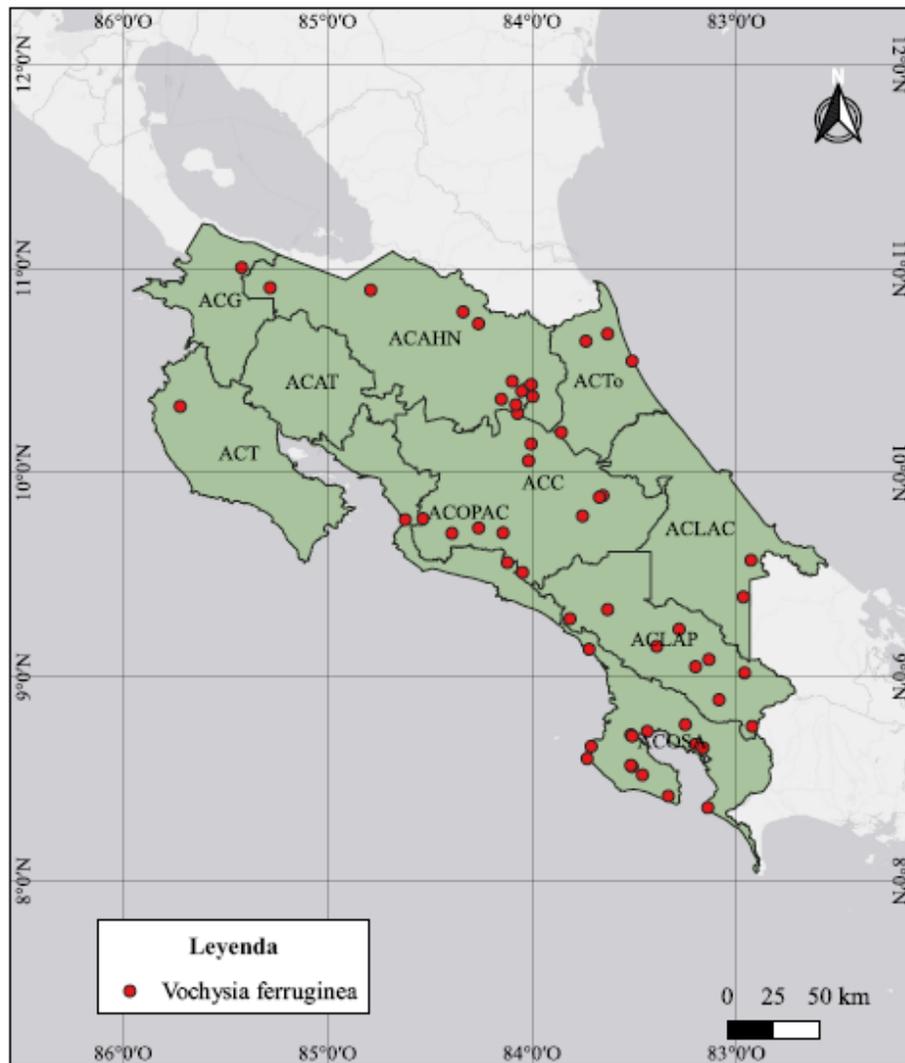
Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución potencial futura presenta un AUC = 0.58 y cv-AUC = 0.53, y según las fuentes consultadas, el modelamiento es bajo pero aceptable. Una de las variables con mayor contribución al proceso de modelado ha sido el contenido de carbono orgánico del suelo.

3.4 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Vochysia ferruginea*

La distribución actual de *Vochysia ferruginea*, botarrama, es constituida por 109 puntos de coordenadas geográficas, correspondiente a los árboles georreferenciados en la mayoría de las áreas de conservación, en menor cantidad en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Pacífico Central y Área de Conservación La Amistad Caribe, a excepción del Área de Conservación Arenal Tempisque (Figura 6).

Registros de presencia de "botarrama" (*Vochysia ferruginea*)



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 6. Mapa de los registros de presencia de *Vochysia ferruginea* en Costa Rica según GBIF

La Figura 7, presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Vochysia ferruginea*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0 y 1; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad a distintos niveles (alta, media y baja) en la mayoría de las áreas de conservación, excepto en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste y Área de Conservación Arenal Tempisque, que presenta idoneidad nula.

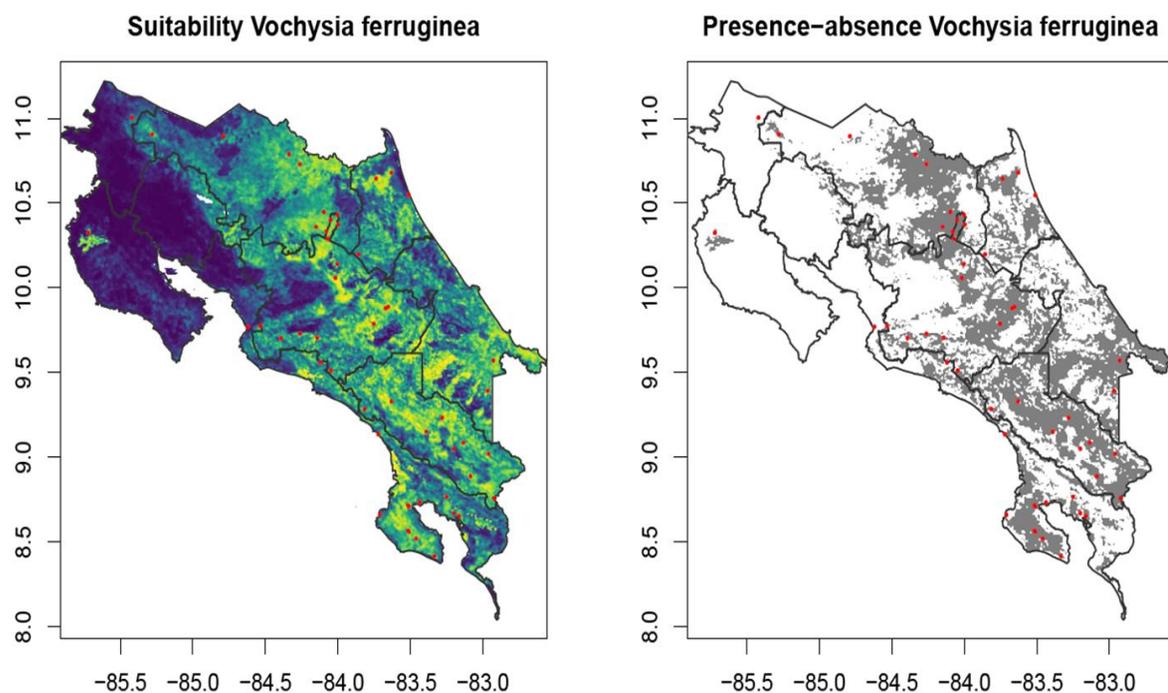


Figura 7. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Vochysia ferruginea*

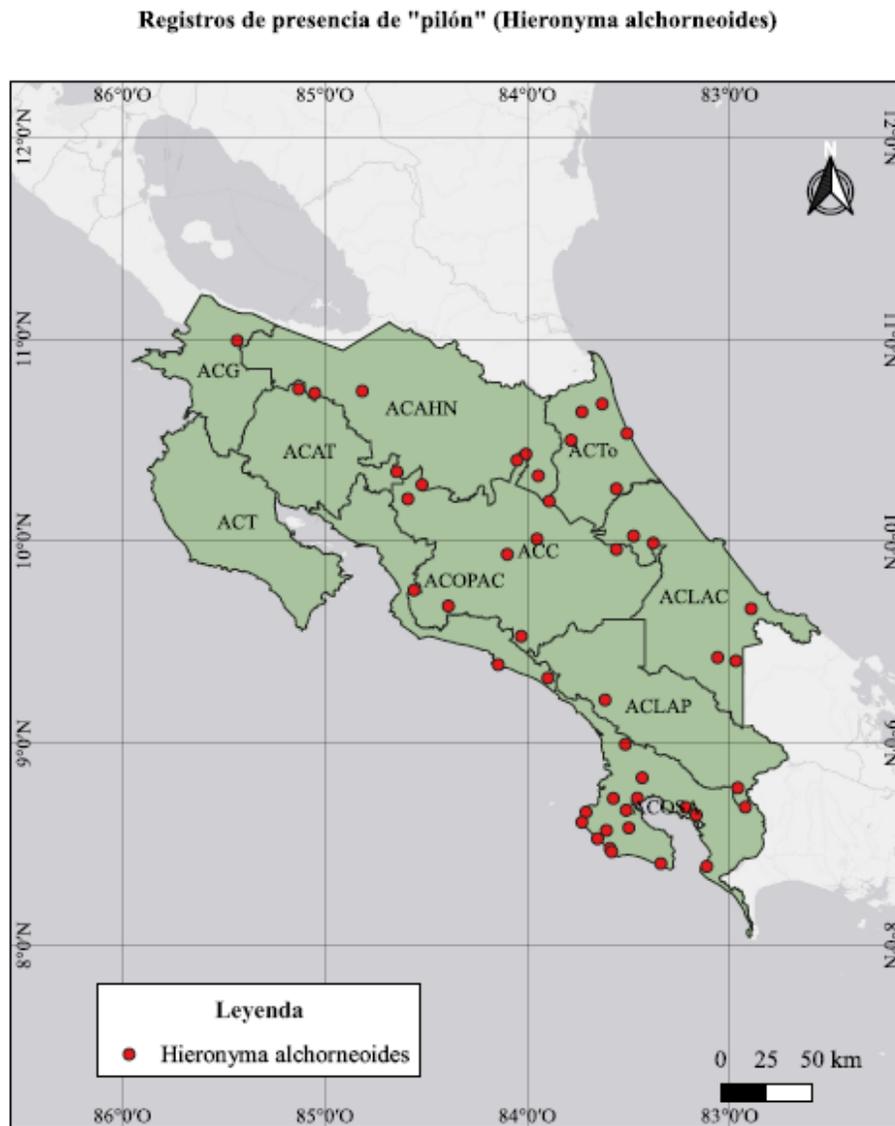
Nota: Los píxeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los píxeles de color gris hacen referencia a “presencia” y blanco a “ausencia”.

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un $AUC = 0.88$ y $cv-AUC = 0.70$. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: bio 17 - precipitación en el trimestre más seco (mm) (41.64 %), bio 12 - precipitación anual (mm) (16.22 %) y la profundidad del suelo (9.42 %).

3.5 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Hieronyma alchorneoides*

La distribución actual de *Hieronyma alchorneoides*, pilón, está conformada por 97 puntos de coordenadas geográficas correspondiente a los árboles georreferenciados en la mayoría de las áreas de conservación, a excepción de Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Arenal Tempisque y Área de Conservación Guanacaste (Figura 8).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 8. Mapa de los registros de presencia de *Hieronyma alchorneoides* en Costa Rica según GBIF

La Figura 9 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Hieronyma alchorneoides*. La idoneidad de hábitat en condiciones actuales oscila entre 0.01 y 1; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad a distintos niveles (alta, media y baja) en la mayoría de las áreas de conservación, excepto en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste y Área de Conservación Arenal Tempisque, que presenta idoneidad nula en gran parte de su superficie.

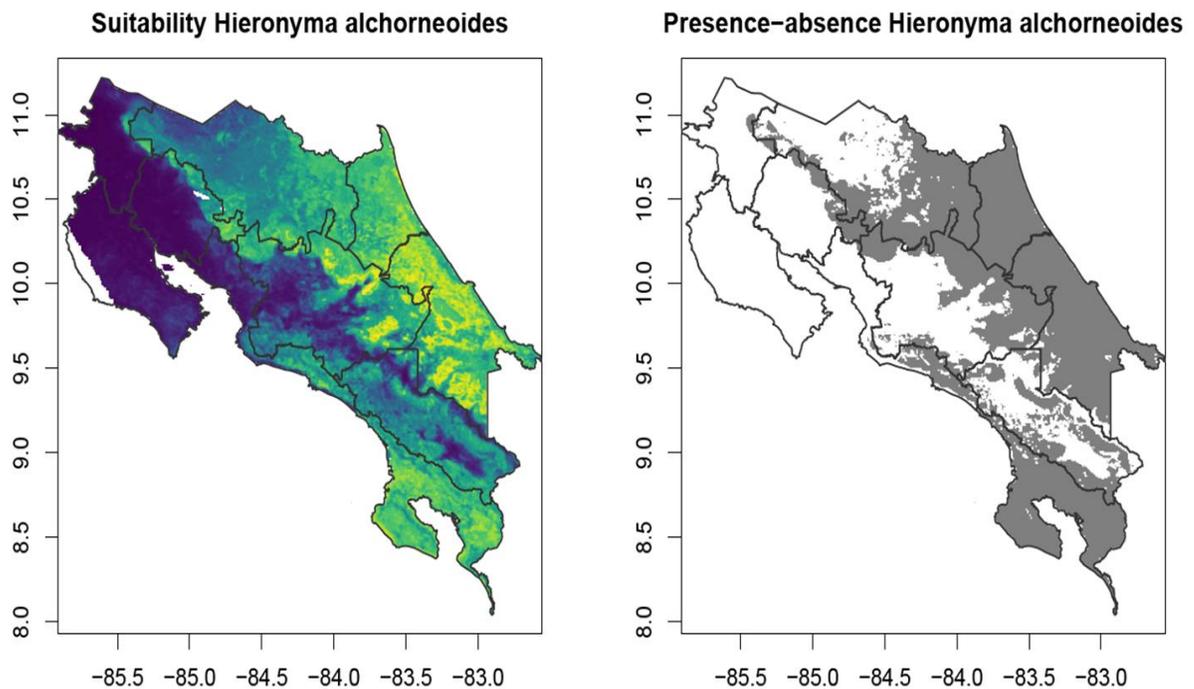


Figura 9. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Hieronyma alchorneoides*

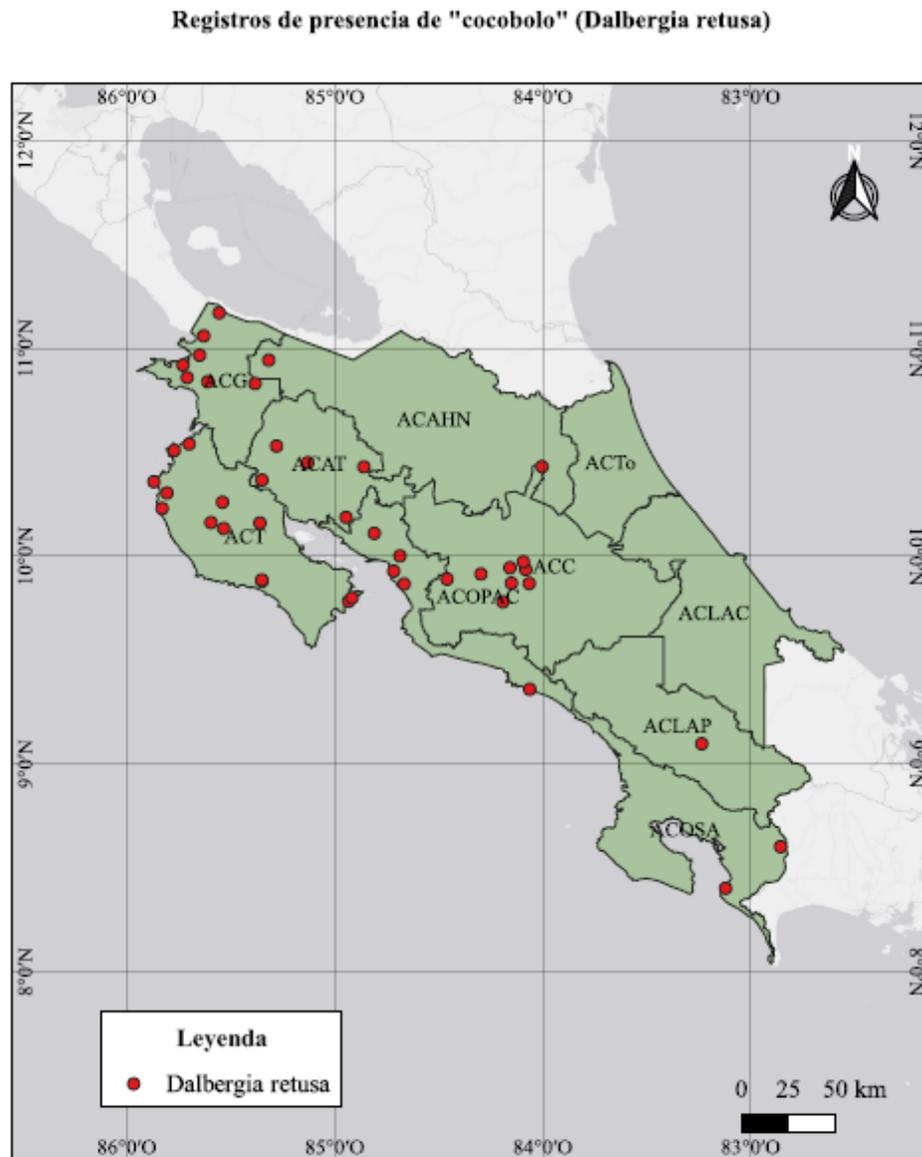
Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a “presencia” y blanco a “ausencia”.

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un AUC = 0.82 y cv-AUC = 0.76. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: bio 12 - precipitación anual (mm) (61.46 %), bio 17 - precipitación en el trimestre más seco (mm) (25.24 %) y el contenido de carbono orgánico en el suelo (10.46 %).

3.6 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Dalbergia retusa*

La distribución actual de *Dalbergia retusa*, cocobolo, está compuesta por 87 puntos de coordenadas geográficas que corresponden a los árboles georreferenciados en la mayoría de las áreas de conservación, a excepción de Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Tortuguero y Área de Conservación La Amistad Caribe (Figura 10).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 10. Mapa de los registros de presencia de *Dalbergia retusa* en Costa Rica según GBIF

La Figura 11 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Dalbergia retusa*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0.09 y 0.97; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad media y alta en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Central y Área de Conservación La Amistad Pacífico; e idoneidad baja en Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Tortuguero, Área de Conservación Pacífico Central, Área de Conservación Osa, Área de Conservación La Amistad Pacífico y Área de Conservación La Amistad Caribe.

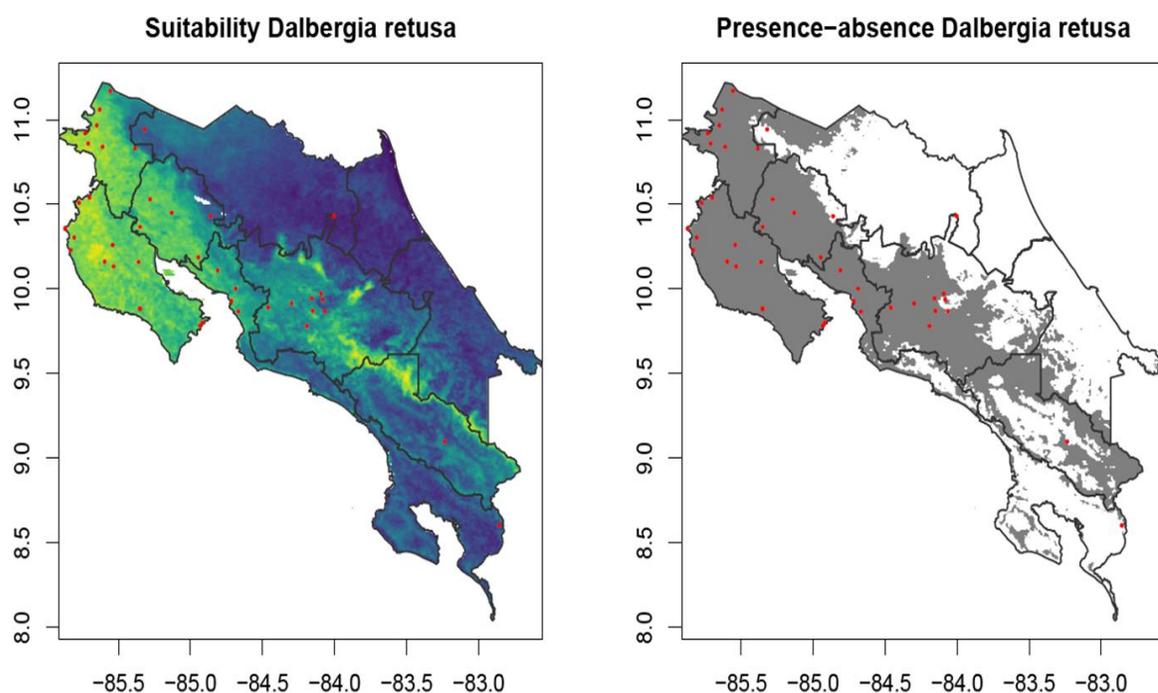


Figura 11. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Dalbergia retusa*

Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a "presencia" y blanco a "ausencia".

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un $AUC = 0.73$ y $cv-AUC = 0.67$. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: bio 12 - precipitación anual (mm) (65.40 %), bio 17 - precipitación en el trimestre más seco (mm) (27.60 %) y el contenido de limo en el suelo (4.21 %).

3.7 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Samanea saman*

La distribución actual *Samanea saman*, cenízaro, está constituida por 86 puntos de coordenadas geográficas, correspondiente a los árboles georreferenciados en la mayoría de las áreas de conservación, a excepción de Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Arenal Tempisque, Área de Conservación Central, Área de Conservación Pacífico Central; y en baja proporción dentro de Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Osa, Área de Conservación La Amistad Caribe y Área de Conservación Tortuguero (Figura 12).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 12. Mapa de los registros de presencia de *Samanea saman* en Costa Rica según GBIF

La Figura 13 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Samanea saman*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0.02 y 1; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad media y alta en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Arenal Tempisque y Área de Conservación Pacífico Central; e idoneidad media y baja en Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Tortuguero, Área de Conservación La Amistad Caribe, Área de Conservación La Amistad Pacífico y Área de Conservación Osa.

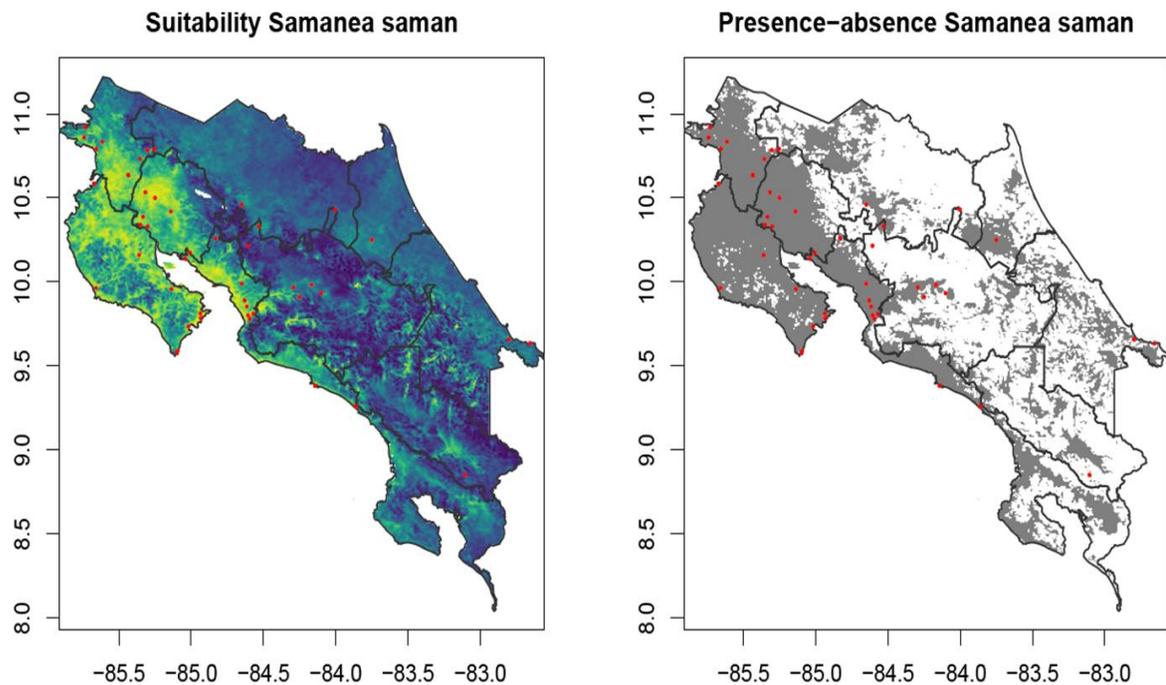


Figura 13. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Samanea saman*

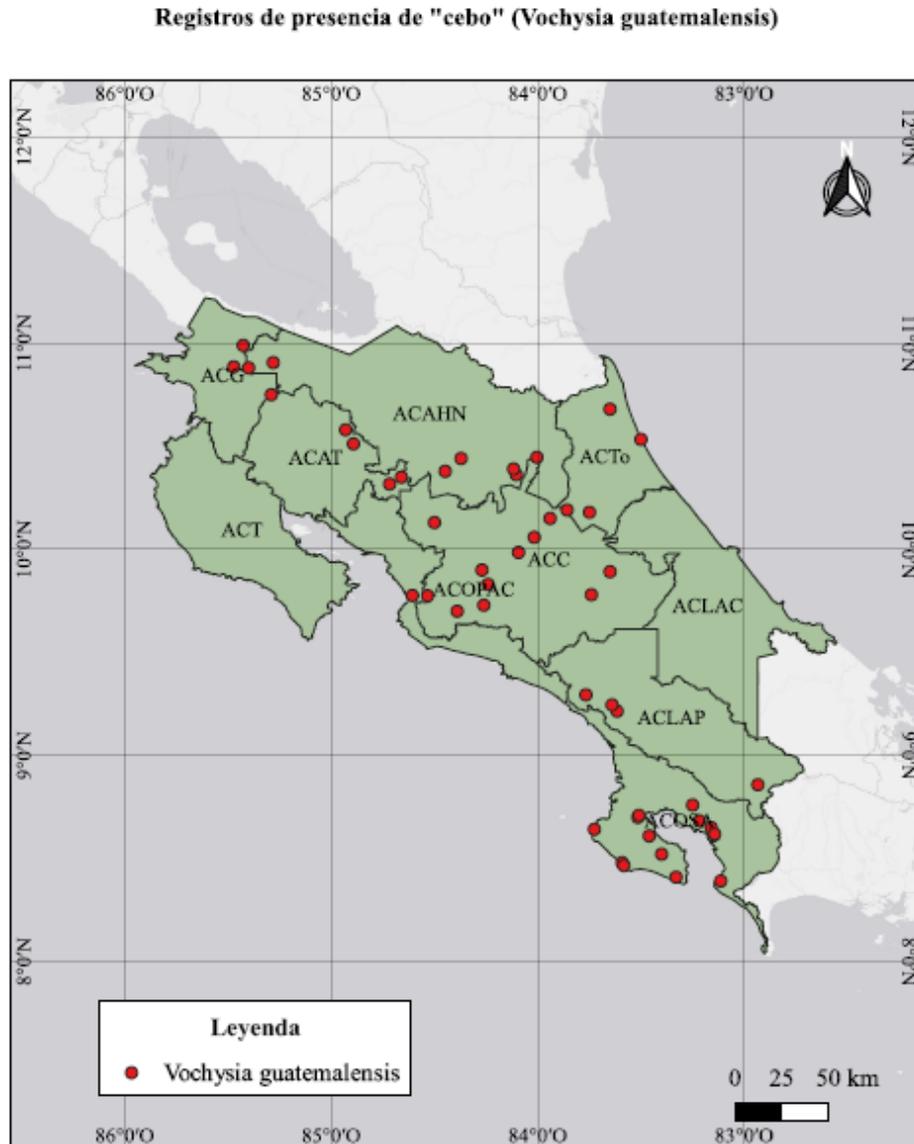
Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a "presencia" y blanco a "ausencia".

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un $AUC = 0.73$ y $cv-AUC = 0.64$. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: bio12 - precipitación anual (mm) (20.03 %), bio 4 - estacionalidad en temperatura ($SD \times 100$) (%) (16.04 %) y el pH del suelo (12.07 %).

3.8 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Vochysia guatemalensis*

La distribución actual de *Vochysia guatemalensis*, cebo, está compuesta por 81 puntos de coordenadas geográficas correspondiente a los árboles georreferenciados en la mayoría de las áreas de conservación, a excepción de Área de Conservación Tempisque y Área de Conservación La Amistad Caribe (Figura 14).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 14. Mapa de los registros de presencia de *Vochysia guatemalensis* en Costa Rica según GBIF

La Figura 15 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Vochysia guatemalensis*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0 y 1; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad a distintos niveles (alta, media y baja) en la mayoría de las áreas de conservación, solo en el Área de Conservación Tempisque presenta idoneidad nula.

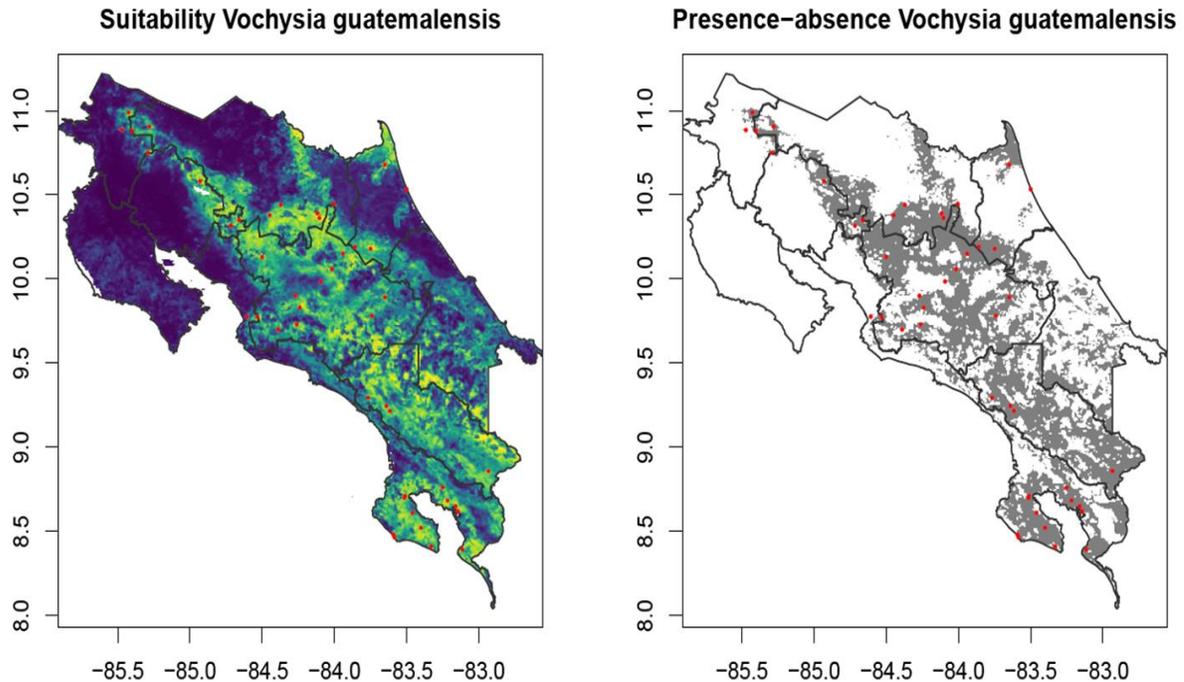


Figura 15. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Vochysia guatemalensis*

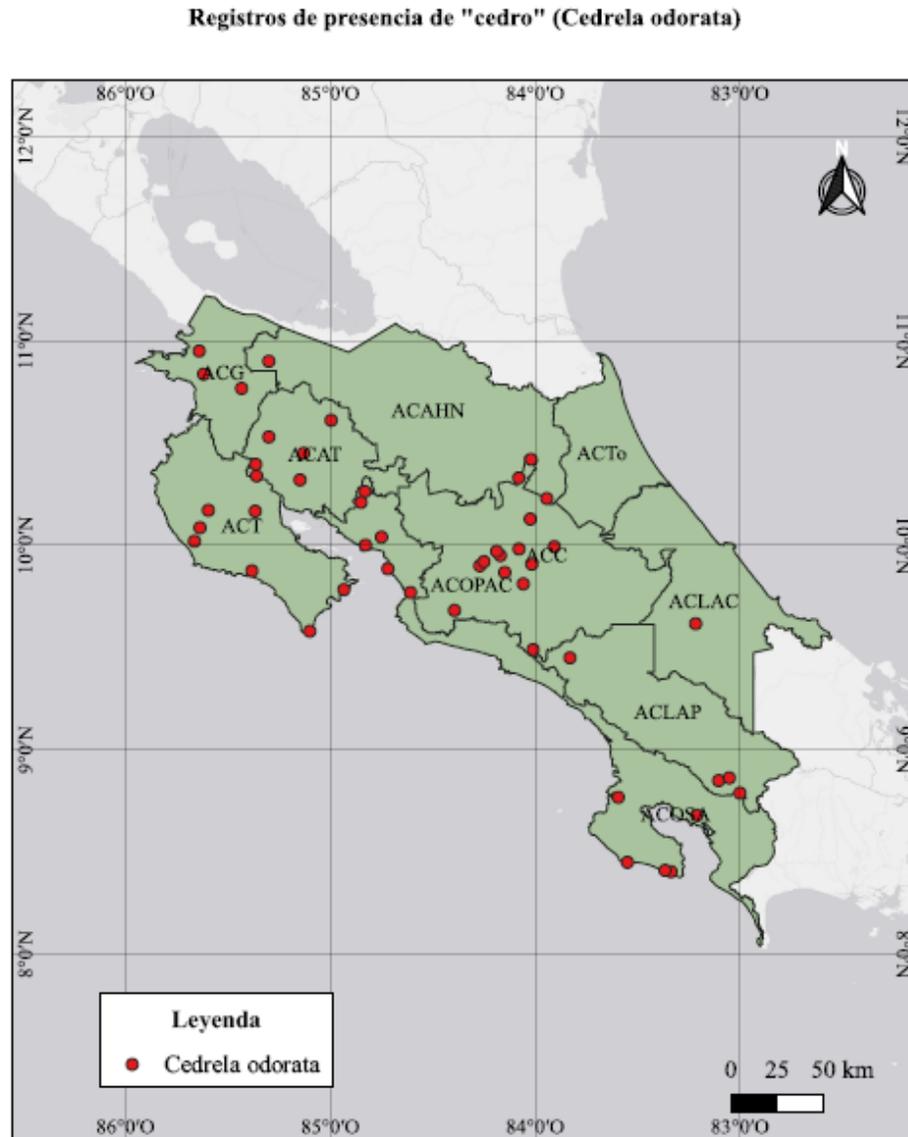
Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a "presencia" y blanco a "ausencia".

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un $AUC = 0.87$ y $cv-AUC = 0.69$. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: bio 17 - precipitación en el trimestre más seco (mm) (33.48 %), pH del suelo (26.12 %) y la pendiente (7.44 %).

3.9 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Cedrela odorata*

La distribución actual de *Cedrela odorata*, cedro, es constituida por 76 puntos de coordenadas geográficas, correspondiente a los árboles georreferenciados en casi todas las áreas de conservación, a excepción del Área de Conservación Tortuguero (Figura 16).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 16. Mapa de los registros de presencia de *Cedrela odorata* en Costa Rica según GBIF

La Figura 17 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Cedrela odorata*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0.17 y 1; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad alta en Área de Conservación Central, Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación La Amistad Pacífico y Área de Conservación La Amistad Caribe. Se observa menor idoneidad en Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Central, Área de Conservación Osa y Área de Conservación La Amistad Caribe.

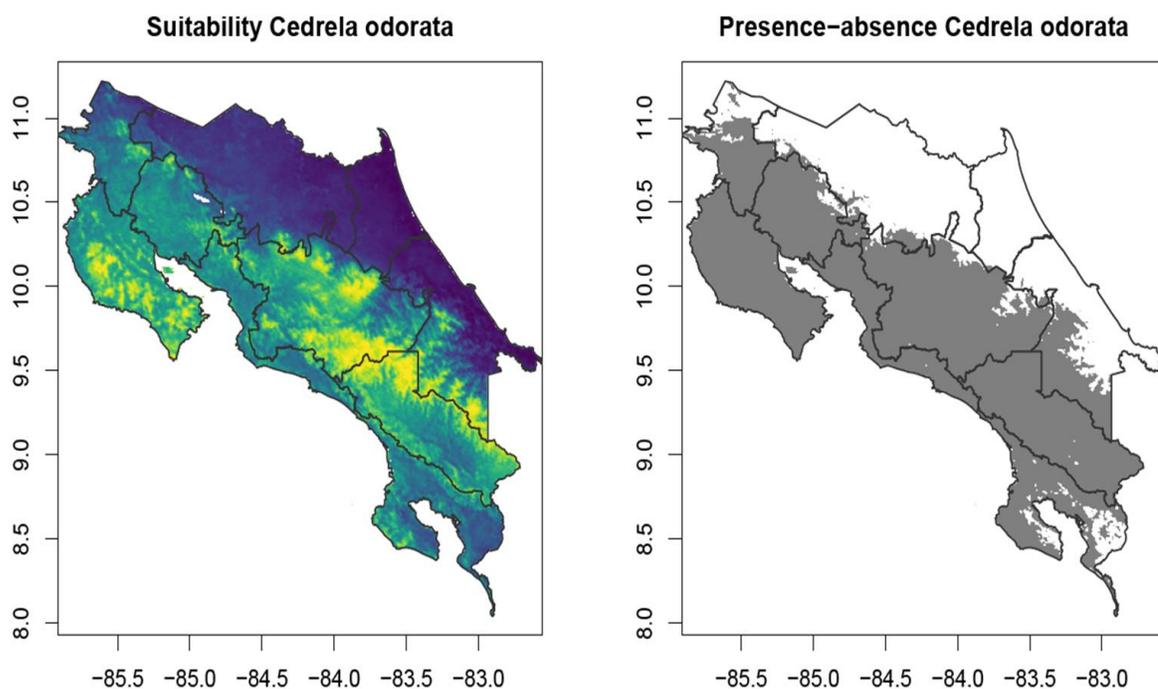


Figura 17. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Cedrela odorata*

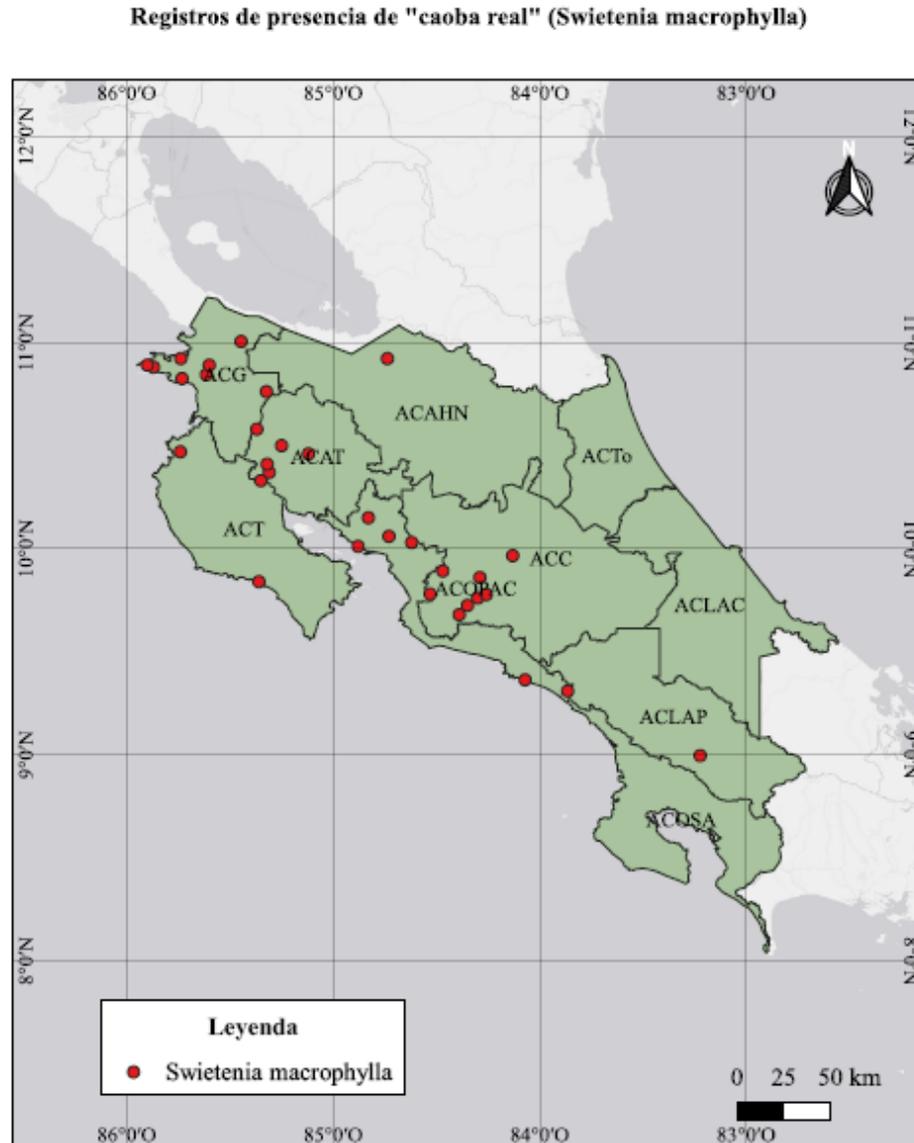
Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a "presencia" y blanco a "ausencia".

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un AUC = 0.68 y cv-AUC = 0.60. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: bio 6 - temperatura mínima del período más frío (°C) (29.22 %), contenido de grava (17.02 %) y bio 17 - precipitación en el trimestre más seco (mm) (15.37 %).

3.10 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Swietenia macrophylla*

La distribución actual de *Swietenia macrophylla*, caoba, está conformada por 58 puntos de coordenadas geográficas, correspondiente a los árboles georreferenciados en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Arenal Tempisque y Área de Conservación La Amistad Pacífico (Figura 18).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 18. Mapa de los registros de presencia de *Swietenia macrophylla* en Costa Rica según GBIF

La Figura 19 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Swietenia macrophylla*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0.06 y 0.98; además, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad media y alta en Área de Conservación Tempisque, Área de Conservación Guanacaste, Área de Conservación Arenal Tempisque, Área de Conservación La Amistad Pacífico y Área de Conservación Osa; e idoneidad baja en Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Central, Área de Conservación Osa y Área de Conservación La Amistad Pacífico.

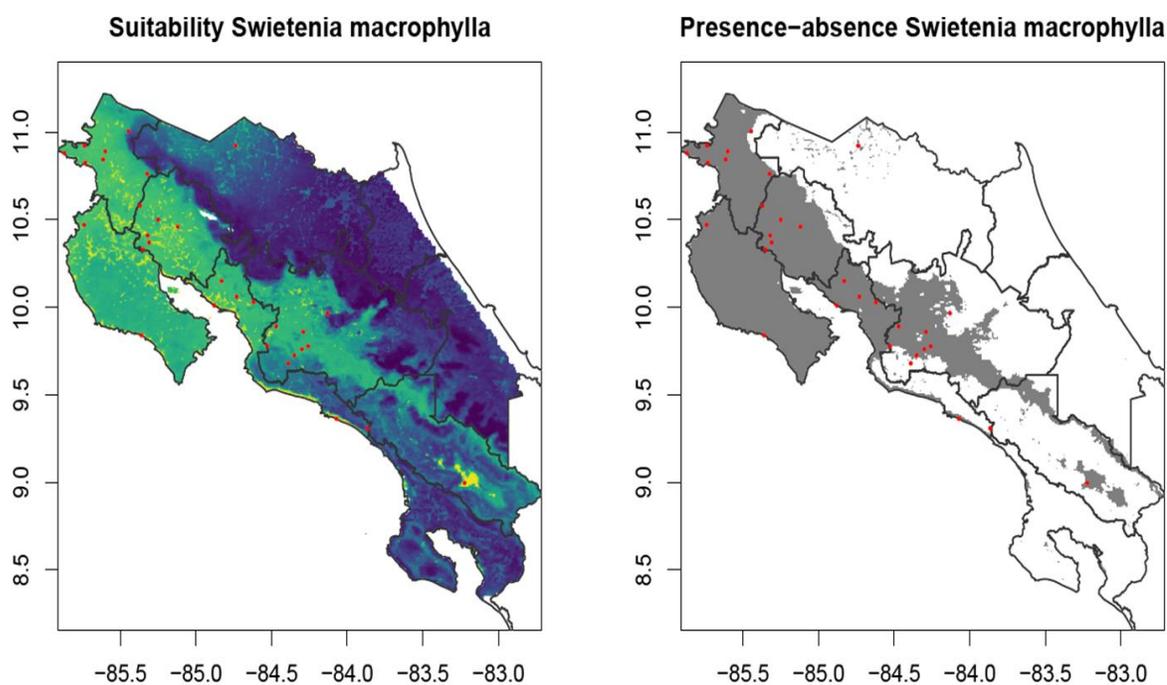


Figura 19. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Swietenia macrophylla*.

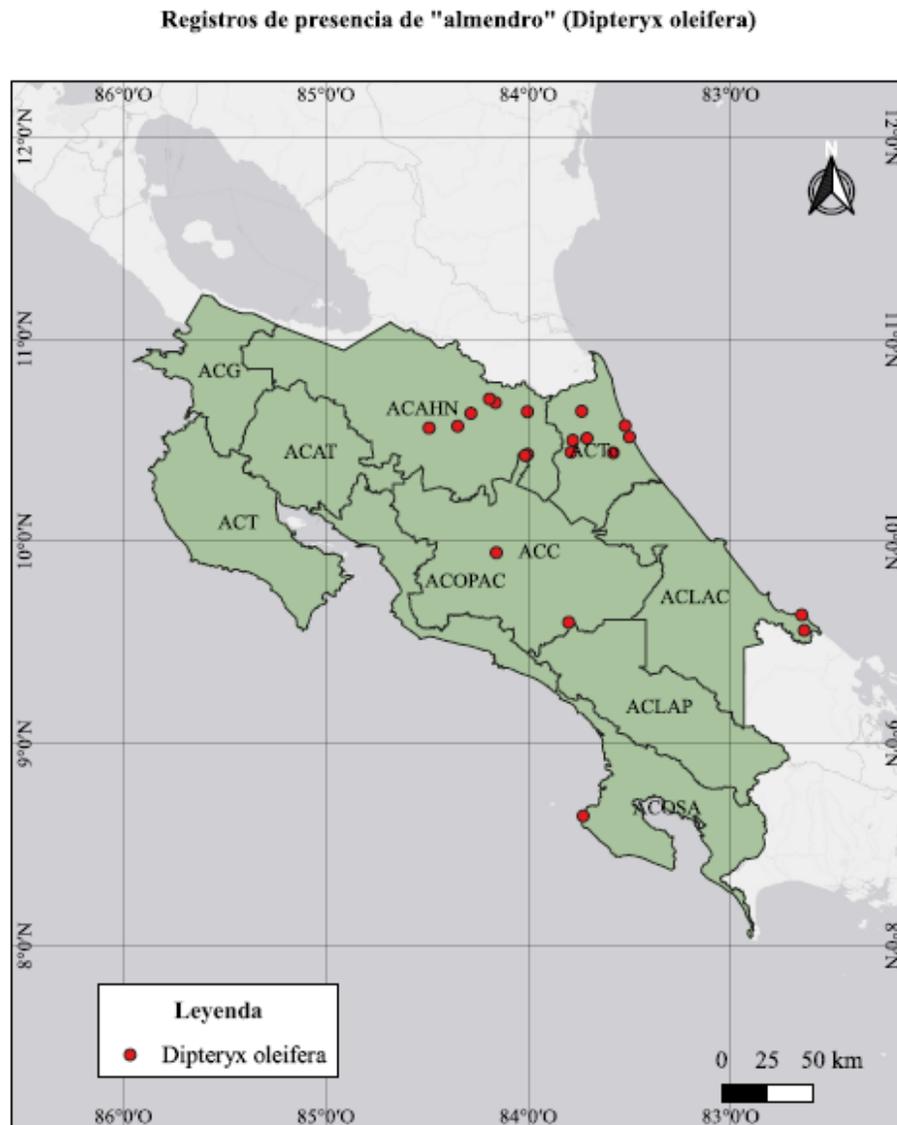
Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a "presencia" y blanco a "ausencia".

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un AUC = 0.80 y cv-AUC = 0.76. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: bio 12 - precipitación anual (mm) (59.11 %), bio 17 - precipitación en el trimestre más seco (mm) (26.29 %) y la profundidad del nivel freático (14.10 %).

3.11 Distribución actual y modelaciones de distribución potencial actual y potencial futura de *Dipteryx oleifera*

La distribución actual de *Dipteryx oleifera*, almendro, está compuesta por 47 puntos de coordenadas geográficas, correspondiente a los árboles georreferenciados dentro del Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Tortuguero, Área de Conservación Central, Área de Conservación La Amistad Caribe y Área de Conservación Osa (Figura 20).



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Fuente: GBIF



Figura 20. Mapa de los registros de presencia de *Dipteryx oleifera* en Costa Rica según GBIF

La Figura 21 presenta los mapas de la distribución potencial actual con base en la idoneidad de hábitat y presencia-ausencia de la especie *Dipteryx oleifera*. La idoneidad de hábitat a condiciones actuales oscila entre 0.08 y 0.98; de tal manera, se observa que la especie presenta una distribución potencial de idoneidad alta en Área de Conservación Arenal Huetar Norte, Área de Conservación Tortuguero y parte de Área de Conservación La Amistad Caribe; mientras que en el resto presenta idoneidad nula.

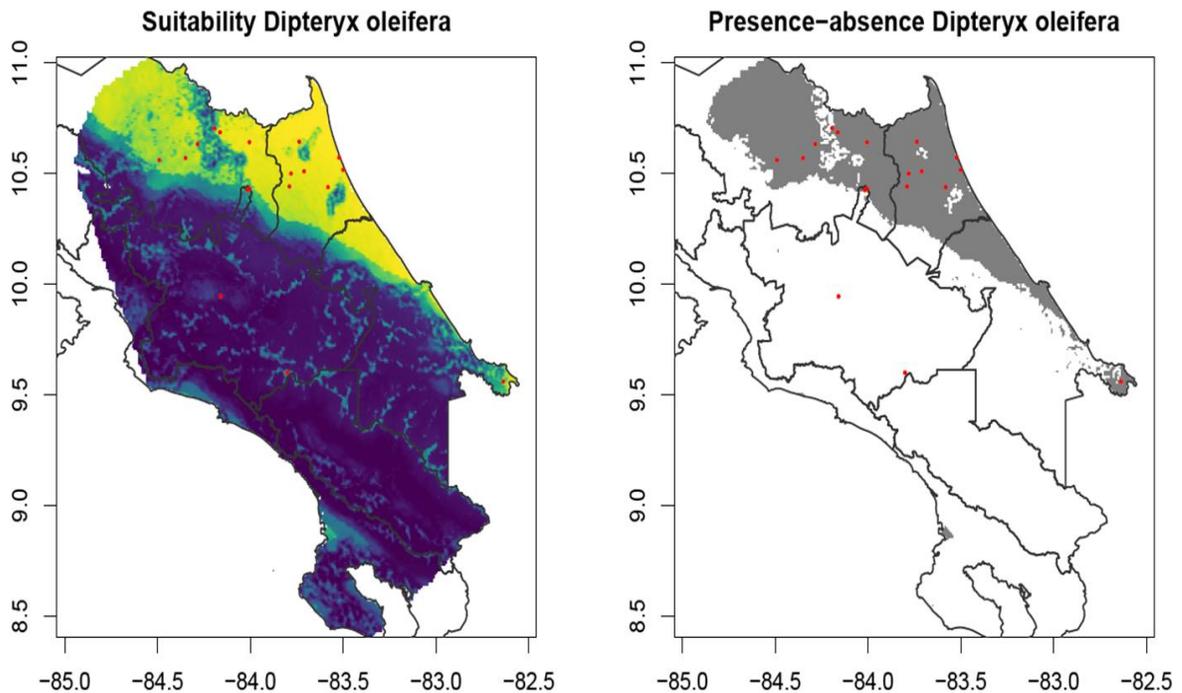


Figura 21. Mapas de distribución potencial actual (idoneidad de hábitat) (imagen izquierda) y distribución potencial actual (presencia-ausencia) (imagen derecha) de *Dipteryx oleifera*.

Nota: Los pixeles de color amarillo representan idoneidad alta, verde es idoneidad media y azul, idoneidad baja. Los pixeles de color gris hacen referencia a "presencia" y blanco a "ausencia".

Fuente: elaboración propia.

El modelamiento de distribución presenta un $AUC = 0.92$ y $cv-AUC = 0.86$. El modelamiento es aceptable. Las 3 variables con mayor contribución al proceso de modelado han sido: TRI: índice de rugosidad del terreno (45.33 %), aspecto del terreno (44.88 %) y bio 7 - rango anual de temperatura (BIO5-BIO6) ($^{\circ}C$) (9.62 %).

3.12 Cambios categóricos de la distribución

En una proyección futura con el escenario SSP2, se identifica que las especies más perjudicadas serían: *Vochysia ferrugínea*, *Vochysia guatemalensis* y *Dalbergia retusa*, pues son las que más pérdida de área van a sufrir, con una reducción del 19.84 %, el 14.97 % y el 12.70 %, respectivamente (Cuadro 2). Dichos cambios se van a dar para *Vochysia ferrugínea*, mayoritariamente, en el Área de Conservación Arenal Huetar Norte (Anexo 29); para *Vochysia guatemalensis*, en el Área de Conservación Osa (Anexo 37); y para *Dalbergia retusa*, en el Área de Conservación La Amistad Pacífico (Anexo 33).

Ante la proyección futura con el escenario SSP3, se estima que las especies más afectadas serían: *Vochysia ferrugínea*, *Vochysia guatemalensis* y *Samanea saman*, ya que son las que más pérdida de área van a sufrir, con una reducción de área del 18.03 %, el 16.60 % y el 16.40 %, respectivamente (Cuadro 3). Los cambios se van a dar para *Vochysia ferrugínea*, mayoritariamente, en el Área de Conservación La Amistad Pacífico (Anexo 30); para *Vochysia guatemalensis*, en el Área de Conservación Osa (Anexo 38); y para *Samanea saman*, en el Área de Conservación Arenal Huetar Norte (Anexo 35).

Las ganancias de áreas idóneas son mínimas en ambos escenarios. Para el SPP2, se observa que *Vochysia guatemalensis* presenta un 0.13 % de área ganada, equivalente a 6517 ha. Estos cambios se identifican dentro del Área de Conservación Central, Área de Conservación La Amistad Caribe y Área de Conservación La Amistad Pacífico (Anexo 37).

Para el escenario SSP3, las especies que muestran ganancia de área son *Vochysia guatemalensis* y *Vochysia ferrugínea*, con ganancias de 254 ha y 85 ha, respectivamente. Los cambios se observaron en ambas especies en el Área de Conservación La Amistad Caribe (Anexo 30 y Anexo 38).

Cuadro 2. Cambios de áreas idóneas de las especies priorizadas en escenario de SPP2 4.5 al 2050

Especie priorizada	SSP2 4.5 al 2050							
	Actual (ha)	Futuro (ha)	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Permanencia (ha)	%
<i>Vochysia ferruginea</i>	1 863 096	850 886	1 012 125	19.84			850 886	16.68
<i>Vochysia guatemalensis</i>	1 835 249	1 079 245	762 437	14.97	6517	0.13	1 072 727	21.06
<i>Dalbergia retusa</i>	2 568 909	1 921 074	647 665	12.70			1 921 074	37.66
<i>Cedrela odorata</i>	3 365 710	2 866 926	498 530	9.77			2 866 926	56.21
<i>Samanea saman</i>	2 420 704	1 955 438	465 097	9.12			1 955 438	38.34
<i>Swietenia macrophylla</i>	1 724 540	1 307 942	416 429	8.44			1 307 942	26.51
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	2 639 414	2 333 017	306 228	6.06			2 333 017	46.18
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2 511 777	2 444 996	66 612	1.32			2 444 996	48.36
<i>Dipteryx oleifera</i>	826 425	1 046 828	24 969	0.69			801 372	22.12
<i>Cordia alliodora</i>	3 343 195	3 343 195					3 343 195	65.54

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Cambios de áreas idóneas de las especies priorizadas en escenario de SPP3 7.0 al 2050.

Especie priorizada	SSP3 7.0 al 2050							
	Actual (ha)	Futuro (ha)	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Permanencia (ha)	%
<i>Vochysia ferruginea</i>	1863096	943567	919529	18.03	85	0.00	943482	18.50
<i>Vochysia guatemalensis</i>	1835249	989865	845554	16.60	254	0.00	989611	19.43
<i>Samanea saman</i>	2420704	1584038	836497	16.40			1584038	31.05
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	2639414	1856155	783089	15.50			1856155	36.74
<i>Dalbergia retusa</i>	2568909	1977614	591126	11.59			1977614	38.77
<i>Cedrela odorata</i>	3365710	2804123	561332	11.00			2804123	54.97
<i>Swietenia macrophylla</i>	1724540	1397660	326795	6.62			1397576	28.33
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2511777	2468610	42997	0.85			2468610	48.83
<i>Dipteryx oleifera</i>	826425	1051060	20398	0.56			805942	22.25
<i>Cordia alliodora</i>	3343195	3343195					3343195	65.54

Fuente: elaboración propia.

3.13 Determinación de zonas semilleras

Las zonas semilleras se establecieron mediante puntuaciones promedio de los tres primeros componentes principales (PC) de las variables ambientales, edáficas y topográficas, así como lo recomendado por Hargrove y Hoffman (2005). De esta manera, se obtuvo las zonas de semillas (n = 36) a condiciones actuales (Figura 22).

En cuanto a las futuras zonas semilleras, fueron predichas por los modelos: ACCESS-CM2, GISS-E2-1-G, INM-CM5-0, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, además de variables ambientales a condiciones de los escenarios SSP2 y SSP3, proyectadas al 2050 y con las variables edáficas y topográficas que se mantuvieron estáticas.

Los mapas de las futuras zonas semilleras se observan en las Figuras 22 y 23, en donde se representan gráficamente las 20 zonas, cuya coloración fue seleccionada al azar. Se distinguen visualmente las variaciones que habrá de acuerdo con los modelos y escenarios de emisiones; debido a que se estableció un color específico para cada zona y con ello se logra identificar que algunas mantienen su superficie (zona 5, bajo las condiciones futuras del SSP3, según el modelo GISS-E2-1-G); mientras que otras logran abarcar mayor extensión (zona 20, bajo las condiciones futuras del SSP2 y SSP3, según el modelo ACCESS-CM2). En otros casos, el área ocupada se reduce (zona 8, bajo las condiciones futuras del SSP2, según el modelo GISS-E2-1-G).

Las zonas semilleras se pueden categorizar en zonas de semillas (apropiadas con las condiciones actuales) y zonas dinámicas de semillas (abastecimiento de semillas climáticamente inteligente).

Este análisis detallado de las zonas semilleras, tanto actuales como futuras, proporciona información esencial para la planificación estratégica de la conservación y restauración. De esta manera, se alcanzará una gestión más eficaz de los recursos de semillas en respuesta a los cambios climáticos proyectados.

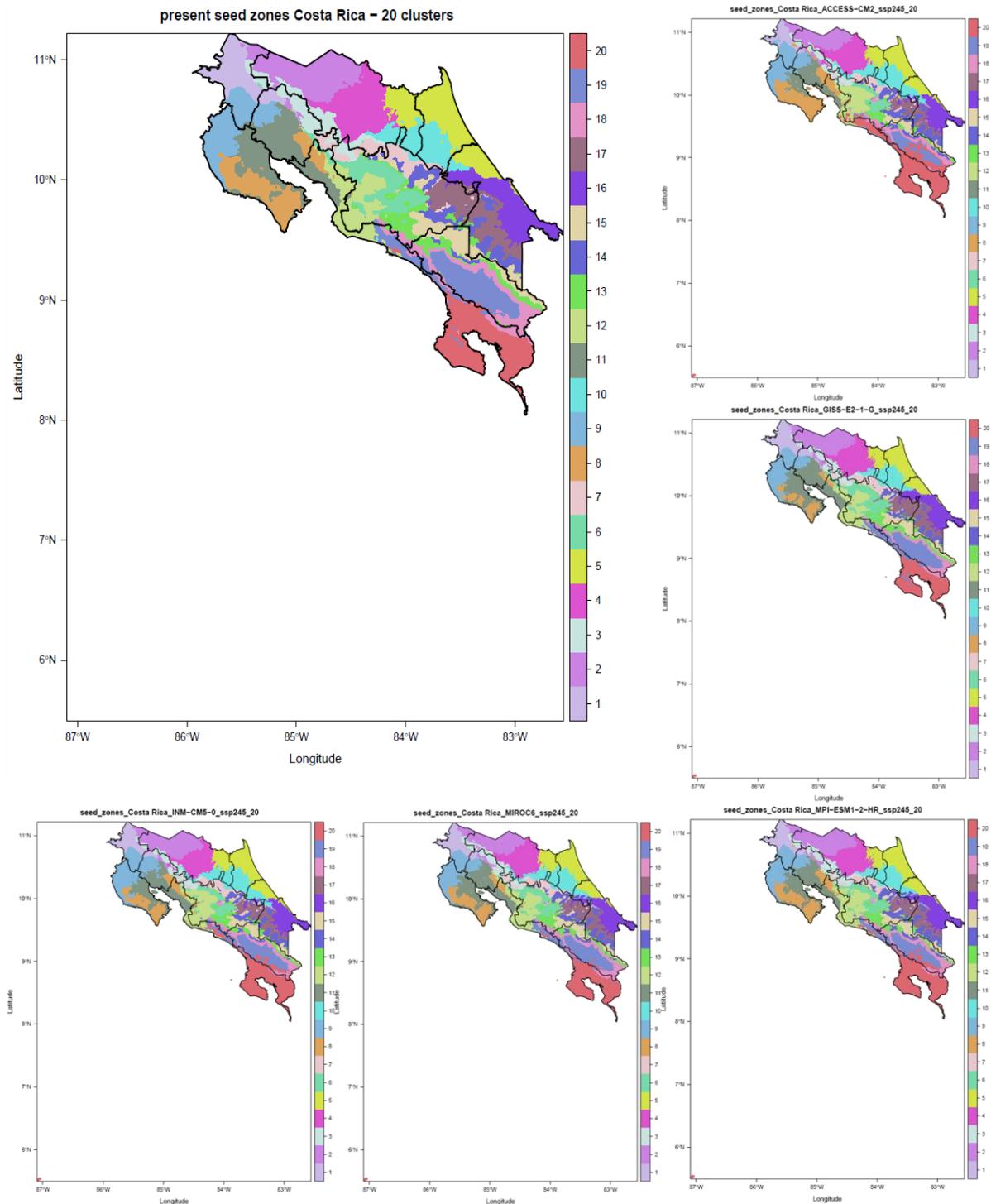


Figura 22. Zonas semilleras (n=20) en Costa Rica bajo las condiciones climáticas actuales (panel de mayor tamaño) y bajo condiciones climáticas futuras (paneles pequeños) para la década de 2050 y escenario de emisiones SPP2 4.5.

Fuente: elaboración propia.

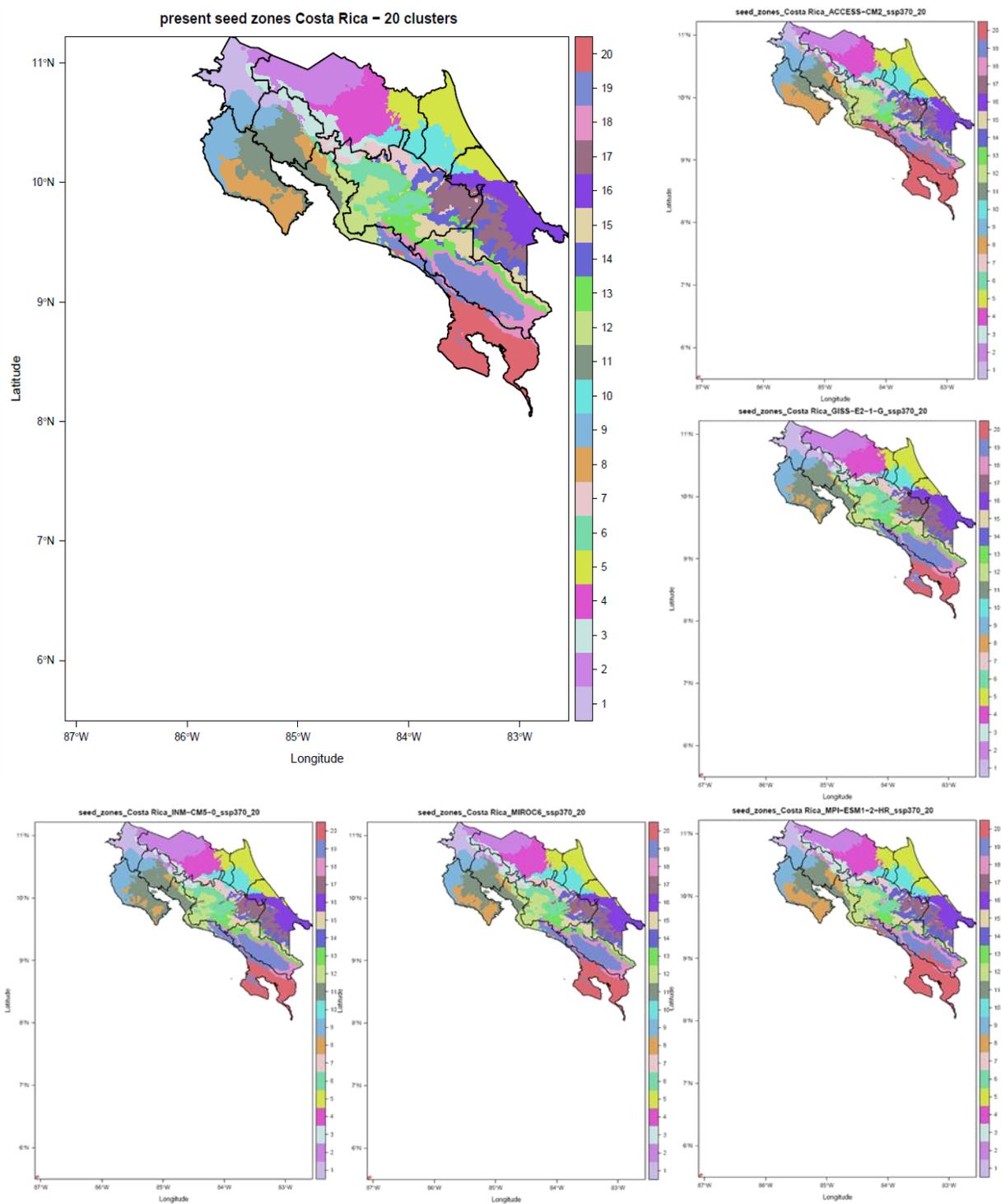


Figura 23. Zonas semilleras (n=20) en Costa Rica bajo las condiciones climáticas actuales (panel de mayor tamaño) y a condiciones climáticas futuras (paneles pequeños) para la década de 2050 y escenario de emisiones SSP3 7.0.

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

Los resultados evidencian cambios en la idoneidad de hábitat para las especies priorizadas en proyectos de restauración, con áreas que mantendrán su idoneidad frente al cambio climático y posibles pérdidas en distintos niveles para cada especie. De Souza *et al.* (2017) respalda estos resultados al modelar la idoneidad de hábitat de especies agroforestales en Centroamérica, y señalar reducciones en áreas de condiciones favorables.

En los escenarios de SSP2 y SSP3, las áreas de pérdidas se proyectan mayoritariamente para especies como *Vochysia guatemalensis* y *Vochysia ferruginea*, que a su vez son de las pocas especies cuya distribución actual refleja la característica de ocupar casi el total del territorio. Entonces, se prueba lo mencionado por Vergara *et al.* (2014) y Uribe-Botero (2015), respecto a que las especies endémicas son las más afectadas y vulnerables a las variaciones abióticas que depara el cambio climático.

La especie que mostró mayor permanencia de áreas idóneas, pese al cambio climático en los escenarios SSP2 y SSP3, ha sido *Cordia alliodora*, cuya distribución estaría definida principalmente por una de las variables edáficas, el contenido de carbono orgánico. He ahí la importancia de conocer qué variable es la responsable de la presencia de la especie; en este caso, se trató de una variable que se mantiene estática en el proceso de modelado.

En varios estudios se recomiendan acciones o prácticas de restauración, reforestación para la conservación de especies, tomando de referencia las áreas de conservación, refugios de vida silvestre u otro sistema de división geográfica (Gómez *et al.* 2016; Quesada *et al.* 2017; Villamonte 2018; Cotrina 2020; Quispe 2022). Sin embargo, el estudio distinguió, haciendo uso de variables determinantes de las condiciones abióticas, 20 zonas semilleras que no coinciden con ninguna de las divisiones geográficas antes mencionadas; de modo que es crucial el poder diseñar estas estrategias haciendo uso de las zonas semilleras.

Conocer las zonas semilleras apropiadas y zonas semilleras dinámicas proporciona información fundamental para la elección, diseño y complemento de estrategias de conservación y restauración, alineándose con las recomendaciones de Rodríguez y Young (2000), Cotrina (2020) y Fremout *et al.* (2021).

5. CONCLUSIONES

Las variables cruciales para la distribución de las especies vegetales estudiadas son la precipitación y temperatura; no obstante, para todas las especies priorizadas, se observa una reducción de áreas de idoneidad, principalmente atribuible a las variables bio-12 - precipitación anual (mm) y bio-17 - precipitación en el trimestre más seco (mm).

Conocer el comportamiento de las variables responsables de la presencia de las especies (es decir, si son variables cambiantes o estáticas) brindará una idea de cuán dinámica será la distribución frente a escenarios futuros.

A pesar de las limitaciones del estudio, como la omisión de competidores y restricciones en la dispersión de semillas, la modelación de la idoneidad de hábitat y sus variaciones emerge como

una herramienta óptima para mitigar la incertidumbre en la identificación de los impactos del cambio climático en las especies tratadas.

Se observa una significativa superposición en las áreas de distribución de muchas especies priorizadas, lo que facilitaría el establecimiento de fuentes semilleras en estas zonas. Esto proporcionaría un valioso recurso vegetal para proyectos de restauración con diversos objetivos.

La priorización del establecimiento de fuentes semilleras en las zonas identificadas como zonas de permanencia es fundamental. Estas áreas, al mantener condiciones climáticas, edáficas y topográficas constantes frente al cambio climático, se convierten en reservorios de diversidad genética esenciales para la adaptación.

Es recomendable establecer parcelas permanentes de especies priorizadas en zonas de permanencia, ganancia y pérdida, a fin de cuantificar las diferentes respuestas ecofisiológicas de las especies por los cambios en la distribución por efecto del cambio climático.

Se caracterizaron 20 zonas semilleras y su dinámica de distribución. Esta información es crucial para el establecimiento de bancos semilleros y estrategias de restauración, considerando tanto las zonas semilleras apropiadas, que resisten al cambio climático, como las zonas semilleras dinámicas. Lo anterior posibilita la definición de estrategias de abastecimiento de semillas climáticamente inteligentes como medidas de adaptación.

Esta propuesta abre nuevas interrogantes que podrían dar origen a futuras investigaciones, tales como los efectos del cambio climático en escenarios más pesimistas y a largo plazo, las variaciones al determinar las zonas de semillas por especie y someterlas a modelaciones en distintos escenarios, y la validación en campo de los resultados a través de la evaluación de indicadores de fuentes semilleras, características fenotípicas de los árboles madre e identificación y sistematización de los árboles plus. A raíz de esta investigación, surgen más dudas que pueden dar lugar a nuevos análisis a cerca de

- Cuáles serían los efectos del cambio climático para escenarios más pesimistas y con horizontes temporales de mayor plazo.
- Qué variaciones habría si se determinan las zonas de semillas por cada especie y se las somete a modelaciones de cambio climáticos con escenarios más pesimistas, como SSP5 8.5 y con horizontes temporales más largos; es decir, proyectados al 2070 y 2100.
- Cómo sería la validación en campo de los resultados de este trabajo, a través de la evaluación de indicadores de fuentes semilleras, características fenotípicas de los árboles madre e identificar y sistematizar los árboles plus.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adjonou, K; Abotsi, K.E; Segla, K.N; Rabiou, H; Houetchegnon, T; Sourou, K.B; Johnson, B.N; Ouinsavi, C.A.N; Kokutse, A.D; Mahamane, A. and Kokou, K. 2020. Vulnerability of African Rosewood (*Pterocarpus erinaceus*, Fabaceae) natural stands to climate change and implications for silviculture in West Africa (en línea). *Heliyon* 6(6), 8. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04031>.
- Araújo, M. B; Pearson, R. G; Thuiller, W; Erhard, M. 2005. Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology* 11(9): 1504-1513. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01000.x>.
- Assogba, Gnido A; Fandohan A B; Idohou R; Assogbadjo A E. 2022. Potential climate-induced shifts in the distribution of suitable areas for *Bombax costatum* in Benin (West Africa) (en línea). Disponible en <https://programme.wfc2021korea.org/es/session/27862f80-a9c1-ec11-997e-a04a5e7cf9dc>.
- Atkinson, RJ; Thomas, E; Roscioli, F; Cornelius, JP; Zamora-Cristales, R; Franco Chuaire, M; Alcázar, C; Mesén, F; Lopez, H; Ipinza, R; Donoso, PJ. 2021. Seeding resilient restoration: An indicator system for the analysis of tree seed systems. *Diversity* 13(8): 367. Disponible en <https://doi.org/10.3390/d13080367>.
- Braunisch, V; Coppes, J; Arlettaz, R; Suchant, R; Schmid, H; Bollmann, K. 2013. Selecting from correlated climate variables: a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. *Ecography* 36: 971-983. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00138.x>.
- Ceccarelli, V; Fremout, T; Thomas, E; Duran Montesinos, P; Arana Olivos, A; Candia Dipaz, C; Villa Zegarra, B; Blas Jaime, D; Ugarte-Guerra, J.L. 2020. Efectos del cambio climático en la distribución de 20 especies forestales maderables de la región amazónica del Perú (en línea). Lima. SERFOR- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. 48 p. Disponible en <https://hdl.handle.net/10568/114602>.
- Cotrina Sánchez, DA. 2020. Modelamiento biogeográfico de especies forestales maderables nativas para la recuperación de bosques degradados en Amazonas, Perú. Disponible en <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2156>.
- Dayrell, RLC; Arruda, AJ; Buisson, E; Silveira, FAO. 2016. Overcoming Challenges on Using Native Seeds for Restoration of Megadiverse Resource-Poor Environments: A Reply to Madsen *et al.* *Restor. Ecol.* 24: 710-713. Disponible en <https://doi.org/10.1111/rec.12450>.
- De Sousa, K; van Zonneveld, M; Imbach, P; Casanoves, F; Kindt, R; Ordonez, JC. 2017. Suitability of key Central American agroforestry species under future climates: An atlas. ICRAF Occasional Paper 26. Turrialba-Costa Rica. Disponible en <https://alliancebioiversityciat.org/publications-data/suitability-key-central-american-agroforestry-species-under-future-climates-atlas>.

- Díaz, S; Demissew, S; Carabias, J; Joly, C; Lonsdale, M; Ash, N; Larigauderie, A; Adhikari, J.R; Arico, S; Báldi, A. and Bartuska, A. 2015. The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people (en línea). *Current opinion in environmental sustainability* 14: 1-16. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>.
- Fick, SE; Hijmans, RJ. 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12): 4302-4315. Disponible en <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- Fremout, T; Thomas, E; Bocanegra-González, K. T; Aguirre-Morales, C. A; Morillo-Paz, A. T; Atkinson, R; Kettle, C; González-M; Alcázar-Caicedo, C; González, M. A; Gil-Tobón, C; Gutiérrez, JP; Gonzalo Moscoso-Higuita, L; López-Lavalle, LAB; de Carvalho, D; Muys, B. 2021. Dynamic seed zones to guide climate-smart seed sourcing for tropical dry forest restoration in Colombia. *Forest Ecology and Management* 490: 15. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119127>.
- Fremout, T; Thomas, E; Taedoumg, H; Briers, S; Gutiérrez-Miranda, C.E; Alcázar-Caicedo, C; Lindau, A; Mounmemi Kpoumie, H; Vinceti, B; Kettle, C. and Ekué, M. 2022. Diversity for Restoration (D4R): Guiding the selection of tree species and seed sources for climate-resilient restoration of tropical forest landscapes (en línea). *Journal of Applied Ecology* 59(3): 664-679. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14079>.
- Fung, E; Imbach, P; Corrales, L; Vilchez, S; Zamora, N; Argotty, F; Hannah, L; Ramos, Z. 2017. Mapping conservation priorities and connectivity pathways under climate change for tropical ecosystems (en línea). *Climatic Change* 141(1): 77-92. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1789-8>.
- Gann, GD; McDonald, T; Walder, B; Aronson, J; Nelson, CR; Jonson, J; Hallet, JG; Eisenberg, C; Guariguata, MR; Liu, J; Hua, F; Echeverría, C; Gonzales, E; Shaw, N; Decler, K; Dixon, KW. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. *Restoration Ecology*. Disponible en <https://doi.org/10.1111/rec.1303>
- Gómez Díaz, JD; Monterroso Rivas, AI; Tinoco Rueda, JÁ. 2007. Distribución del cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Hidalgo, bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático (en línea). *Madera y Bosques* 13(2): 29. Disponible en <https://doi.org/10.21829/myb.2007.1321227>.
- Hargrove, WW; Hoffman, FM. 2005. Potential of multivariate quantitative methods for delineation and visualization of ecoregions. *Environ. Manage* 34 : S39–S60. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00267-003-1084-0>.
- Hengl, T; Mendes de Jesus, JS; Macmillan, RA; Batjes, NH; Heuvelink, GBM; Carvalho Ribeiro, ED; Samuel Rosa, A; Kempen, B; Leenaars, JGB; Walsh, MG; Ruiperez Gonzalez, M. 2014. SoilGrids1km: información global del suelo basada en mapeo automatizado. *PLoS ONE*, 9(8): [e105992]. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105992>.

- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. Cambio climático 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 95 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegrøa, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge, UK, and New York, USA. 3056 p. Disponible en <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Jalonen, R; Valette, M; Boshier, D; Duminil, J; Thomas, E. 2017. Forest and landscape restoration severely constrained by a lack of attention to the quantity and quality of tree seed: Insights from a global survey. *Conservation Letters* 11(4): e12424. Disponible en <https://doi.org/10.1111/conl.12424>.
- Kindt, R. 2018. Ensemble species distribution modelling with transformed suitability values. *Environmental Modelling & Software* 100: 136-145. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.009>.
- Lee, MK; Chun, JH; Lee, CB. 2021. Prediction of distribution changes of *Carpinus laxiflora* and *C. tschonoskii* based on climate change scenarios using MaxEnt model (en línea). *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 23(1): 55-67. Disponible en <https://doi.org/10.5532/KJAFM.2021.23.1.55>.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and human well-being (Vol. 5, pp. 563-563). Washington, DC: Island press. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.11822/8780>.
- Merow, C; Smith, MJ; Silander, JA. 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: What it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36(10): 1058-1069. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>.
- Mesén-Sequeira, F; Jiménez-Alvarado, LD. 2022. Guía para el diseño y operación de bancos de semillas y viveros forestales comunitarios.
- Pacheco CN J; Alfonso C, CL; Campos C, JE; Clark TR. 2022. Estudio genómico y ambiental de *Quercus macdougalii* (Fagaceae), un encino endémico de la Sierra Juárez de Oaxaca, México (en línea). Disponible en <https://programme.wfc2021korea.org/es/session/a3c75590-a9c1-ec11-997e-a04a5e7cf9dc>.
- Pearson, RG. 2008. Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. Synthesis. American Museum of Natural History. Disponible en <http://ncep.amnh.org>.

- Phillips, S. J; Anderson, R. P; Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling* 190(3-4): 231-259. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
- Pontius, RG; Shusas, E; McEachern, M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2-3) : 251-268. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>.
- Quesada-Quirós, M; Acosta-Vargas, LG; Arias-Aguilar, D; Rodríguez-González, A. 2017. Modelación de nichos ecológicos basado en tres escenarios de cambio climático para cinco especies de plantas en zonas altas de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 14(34): 01-12. Disponible en <https://doi.org/10.18845/rfmk.v14i34.2991>.
- Rodríguez, LO; Young, KR. 2000. Biological diversity of Peru: determining priority areas for conservation. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 29(6): 329-337. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.6.329>.
- Sofaer, HR; Jarnevich, CS; Pearse, IS; Smyth, RL; Auer, S; Cook, GL; Edwards Jr, TC; Guala, GF; Howard, TG; Morisette, JT; Hamilton, H. 2019. Development and delivery of species distribution models to inform decision-making. *BioScience* 69(7): 544-557. Disponible en <https://doi.org/10.1093/biosci/biz045>
- Thomas, E; Alcazar, C; Moscoso Higueta, LG; Osorio, LF; Salgado Negret, B; Gonzalez, M; Parra, M; Bozzano, M; Loo, J; Jalonen, R; Ramirez, W. 2017. The importance of species selection and seed sourcing in forest restoration for enhancing adaptive potential to climate change: Colombian tropical dry forest as a model (en línea). *CBD Technical Series*. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/90681>.
- Uribe-Botero, E. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. CEPAL-Unión Europea. Naciones Unidas, Santiago. 77 p. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf;jsessionid=3B938%20A87945D3A9D132330450FA9736F?sequence=1.
- Vergara, W; Ríos, AR; Trapido, P; Malarín, H. 2014. Agricultura y Clima Futuro en América Latina y el Caribe: Impactos sistémicos y posibles respuestas. BID. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. Documento de Debate No. IDP-DP-329. BID, Washington D.C. 15 p. Disponible en https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/agricultura_y_cambio_climatico_idb-dp-329_es.pdf.
- Walck, JL; Hidayati, SN; Dixon, KW; Thompson, K; Poschlod, P. 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology* 17(6): 2145-2161. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02368.x>.
- Wan, JZ; Wang, CJ; Yu, FH. 2017. Spatial conservation prioritization for dominant tree species of Chinese forest communities under climate change. *Climatic Change* 144(2): 303-316. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2044-7>.

7. ANEXOS

Anexo 1. Especies forestales priorizadas por su importancia en restauración con diversos fines en Costa Rica.

Nombre científico	Nombre común	Importancia en restauración para fines de		
		Conservación de biodiversidad	Protección / Regulación	Producción
<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	- Abundante regeneración natural	- Cercos vivos en sistemas silvopastoriles	- Madera para construcción y mueblería - SAF
<i>Cedrela odorata</i>	Cedro	- Especie natural de la zona del Caribe	- Cultivo intercalado y plantaciones multiestratos	- Madera para construcción, ebanistería y artesanías - SAF
<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba real	- Especie endémica (Centroamérica - Belice) - Especie amenazada	- Cultivo intercalado y plantaciones multiestratos	- Madera de las más finas a nivel mundial - SAF
<i>Dalbergia retusa</i>	Cocobolo	- Especie natural de la zona del Pacífico - Especie amenazada	- Fijador de nitrógeno - Cultivo intercalado y plantaciones multiestratos	- Madera muy fina, dura y valiosa para ebanistería, instrumentos deportivos, científicos y artesanías - SAF
<i>Samanea saman</i>	Cenízaro	- Especie endémica de Centroamérica	- Fijador de nitrógeno - Árboles aislados en potreros	- Madera resistente, estable y ligera para construcción, artesones, mueblería y artesanías - SAF - Vainas como suplemento de ganado - Pulpa como bebida dulce
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	- Árbol nacional de Costa Rica	- Fijador de nitrógeno - Árboles en potreros - Vainas como suplemento de ganado	- Madera para construcción, artesones, carpintería y ebanistería - SAF
<i>Vochysia guatemalensis</i>	Cebo	- Especie endémica de Centroamérica hasta Colombia	- Mejora el suelo - Siempreverde - Protección ribereña	- Madera liviana para carpintería, construcciones livianas, artesanías, canoas. - SAF y plantaciones puras
<i>Vochysia ferruginea</i>	Botarrama	- Especie endémica de Centroamérica de Honduras hasta Brasil	- Cercos - Protección de suelo	- Madera para construcción interna, carpintería, postes de cerca y formaletas
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	Pilón	- Especie natural de México hasta Brasil		- Madera de alta calidad y duración. - Madera para construcción pesada (puentes, carrocerías, pilones)
<i>Dipteryx oleifera</i>	Almendro	- Especie natural de Nicaragua hasta Colombia - Conservación de fauna - Lapa verde (en peligro de extinción) anida en sus ramas		- Madera muy pesada para construcción pesada y construcción marina - Semillas para bebidas - Aceite de frutos para jabones

Fuente: Adaptado de Mesén y Jiménez 2022.

Anexo 2. Variables bioclimáticas de WorldClim.

Variable	Descripción
BIO1	Temperatura promedio anual (°C)
BIO2	Rango medio diario (temp máx. – temp mín; promedio mensual) (°C)
BIO3	Isotermalidad (BIO1/BIO7) * 100 (°C)
BIO4	Estacionalidad en temperatura (SD × 100) (%)
BIO5	Temperatura máxima del período más caliente (°C)
BIO6	Temperatura mínima del período más frío (°C)
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6) (°C)
BIO8	Temperatura media en el trimestre más lluvioso (°C)
BIO9	Temperatura promedio en el trimestre más seco (°C)
BIO10	Temperatura promedio en el trimestre más caluroso (°C)
BIO11	Temperatura promedio en el trimestre más frío (°C)
BIO12	Precipitación anual (mm)
BIO13	Precipitación en el período más lluvioso (mm)
BIO14	Precipitación en el período más seco (mm)
BIO15	Estacionalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)(%)
BIO16	Precipitación en el trimestre más lluvioso (mm)
BIO17	Precipitación en el trimestre más seco (mm)
BIO18	Precipitación en el trimestre más caluroso (mm)
BIO19	Precipitación en el trimestre más frío (mm)

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Variables edáficas de SoilGrids v1.

Variable	Descripción
EDA1	Densidad aparente del suelo
EDA2	Contenido de arcilla
EDA3	Contenido de arena
EDA4	Contenido de carbono orgánico
EDA5	pH del suelo
EDA6	Contenido de grava
EDA7	Contenido de limo
EDA8	Capacidad de intercambio catiónico
EDA9	Contenido de nitrógeno

Fuente: elaboración propia.

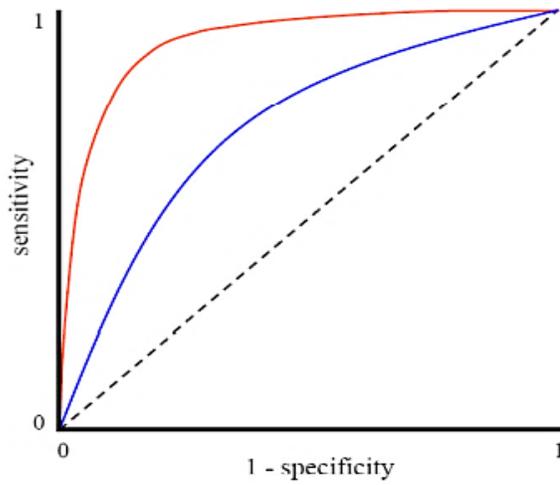
Anexo 4. Variables topográficas del paquete ráster en R.

Variable	Descripción
TOP1	Aspecto Terreno o fisiográficas
TOP2	Dirección del flujo de agua
TOP3	Pendiente
TOP4	TPI: Índice de posición topográfica
TOP5	TRI: Índice de rugosidad del terreno

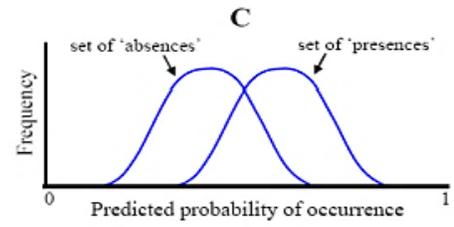
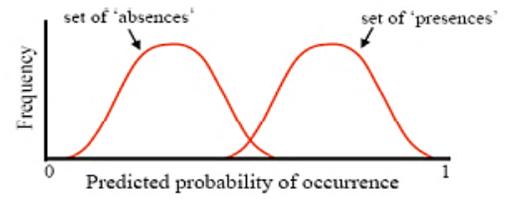
Fuente: elaboración propia.

Fuente: Tomado de Pearson 2008.

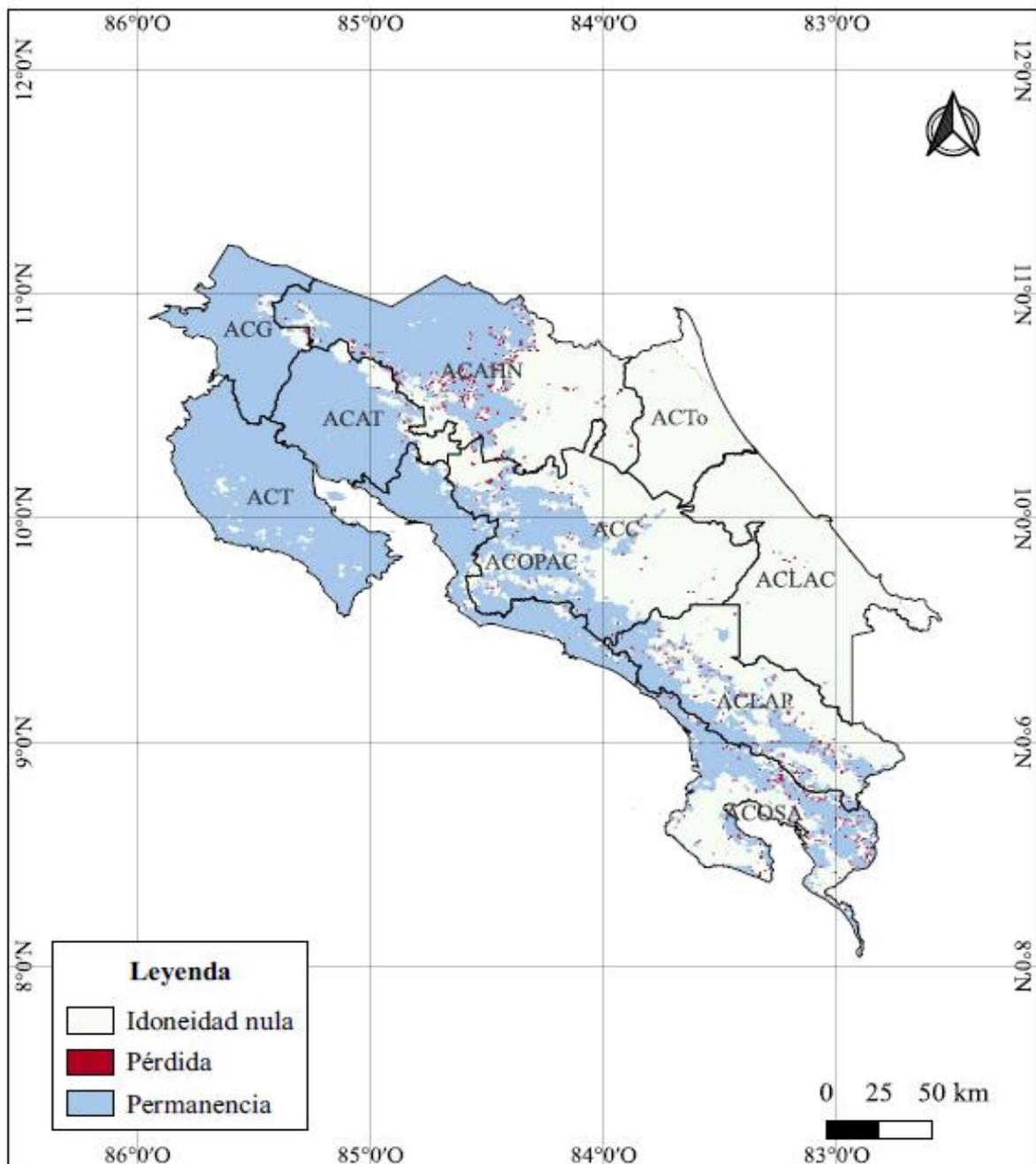
Anexo 5. Representación de las curvas ROC y el AUC.



Fuente: Tomado de Pearson 2008.

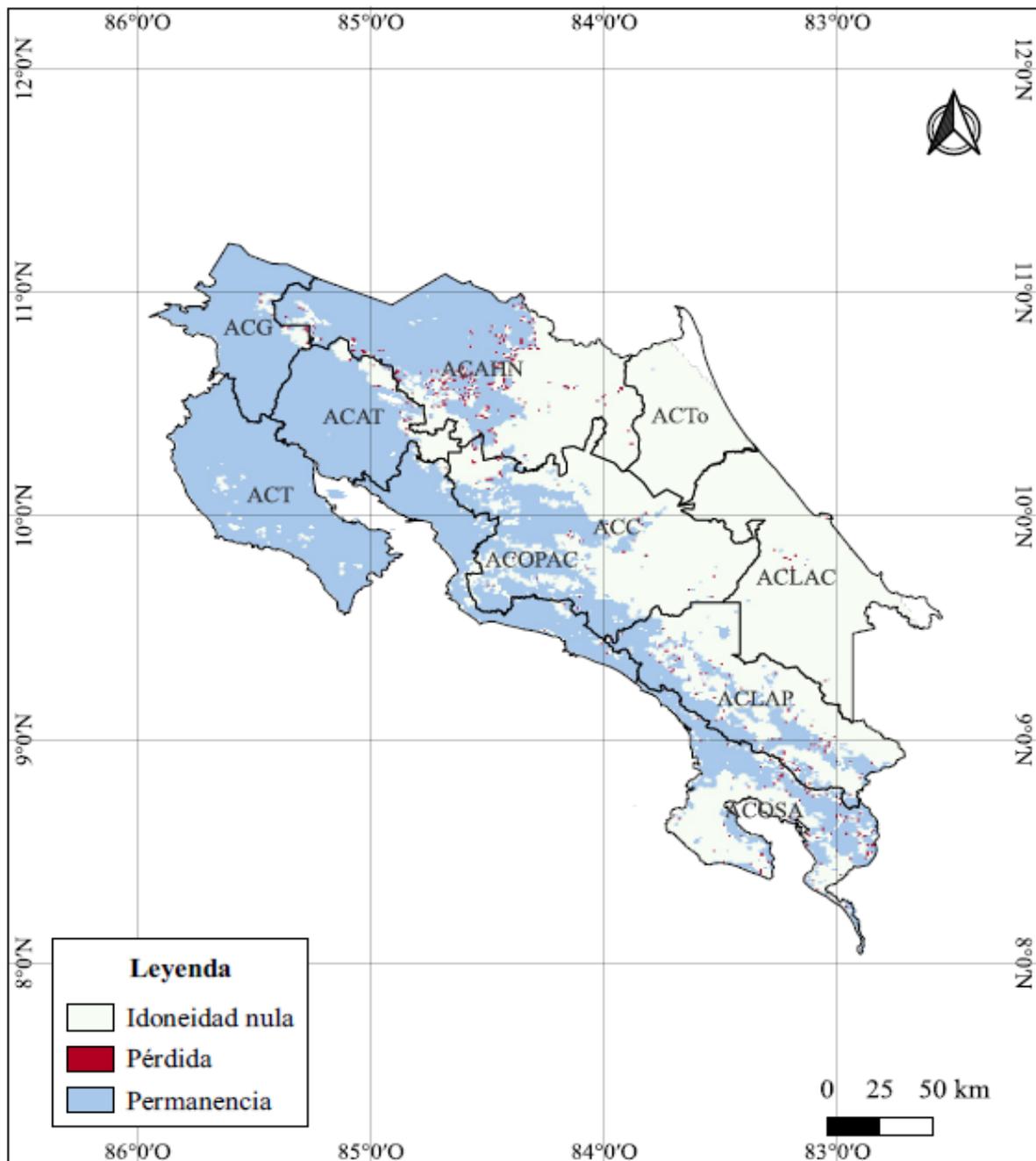


Anexo 6. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Enterolobium cyclocarpum* a escenario SSP2 al 2050.



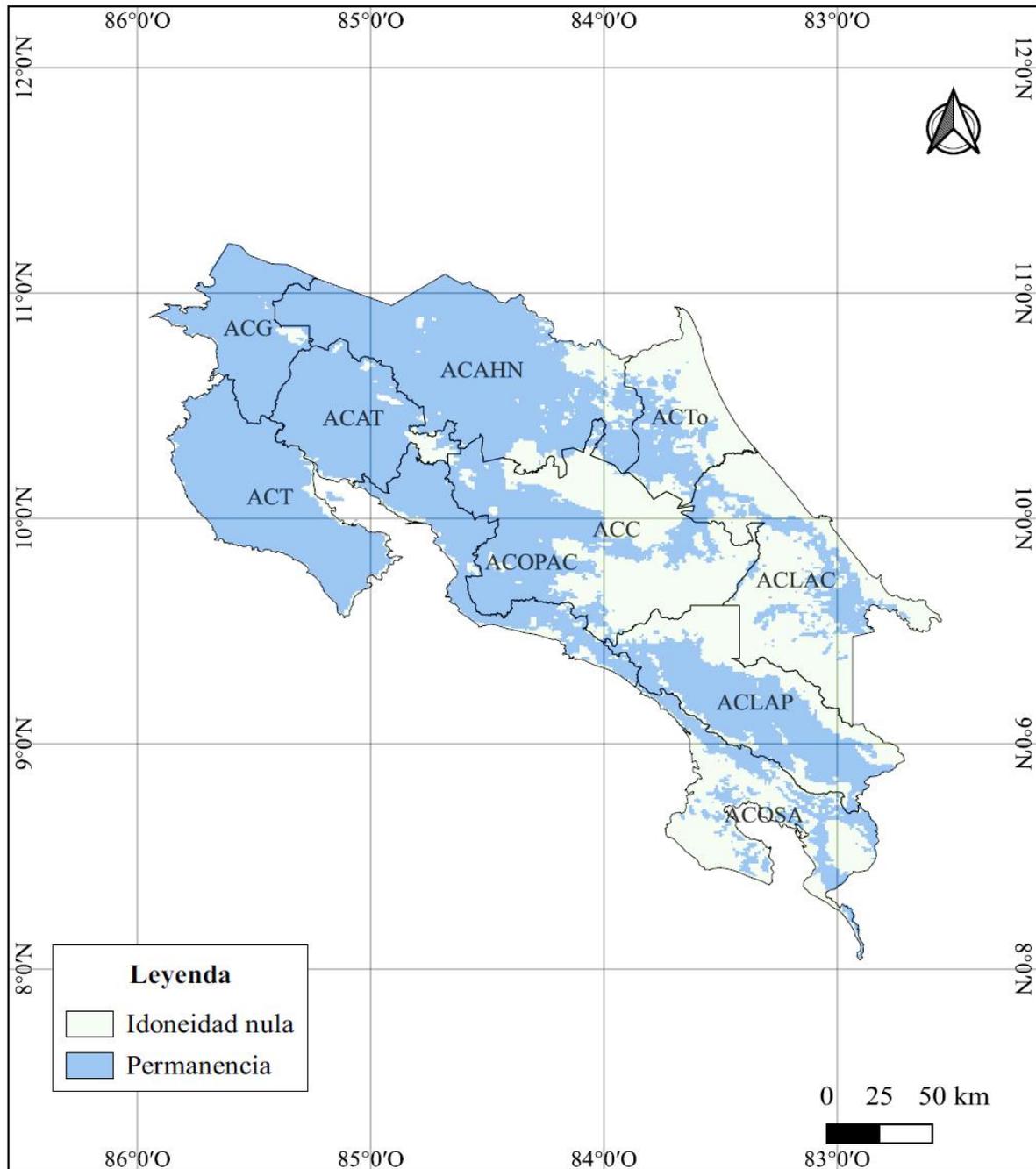
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 7. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Enterolobium cyclocarpum* a escenario SSP3 al 2050.



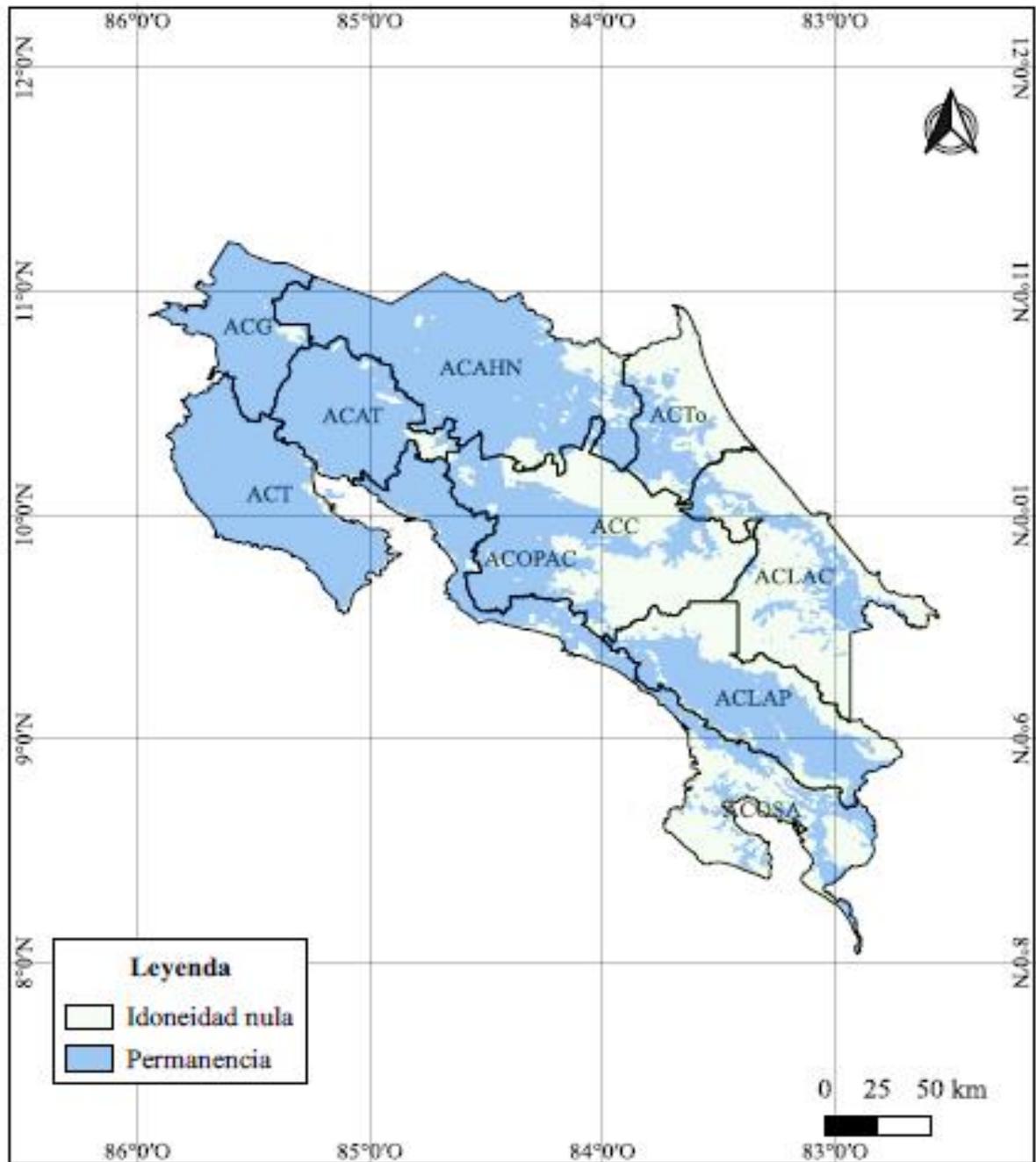
Elaborado por:
 Sandy Lizana Rojas
 Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 8. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Cordia alliodora* a escenario SSP2 al 2050.



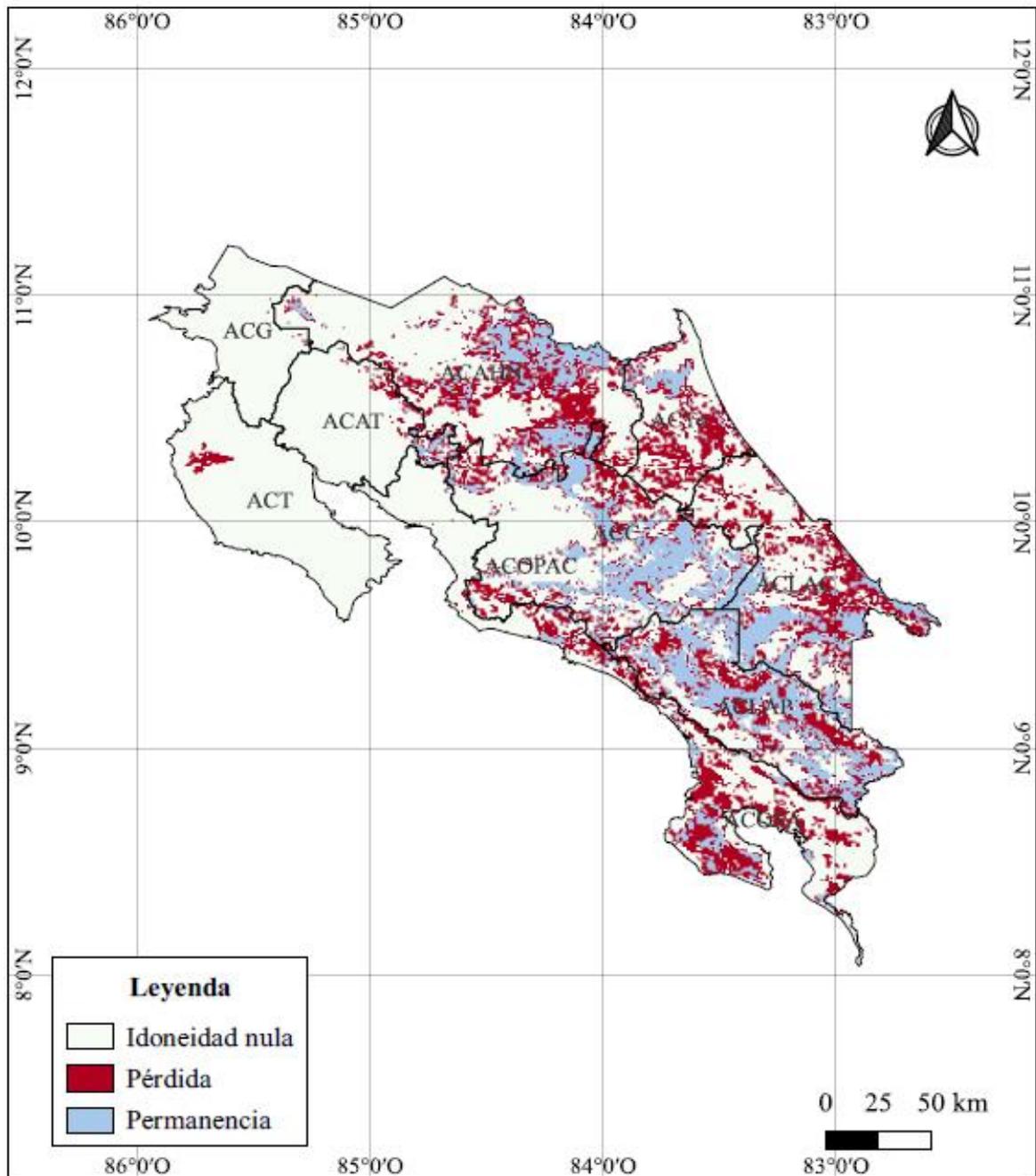
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 9. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Cordia alliodora* a escenario SSP3 al 2050.



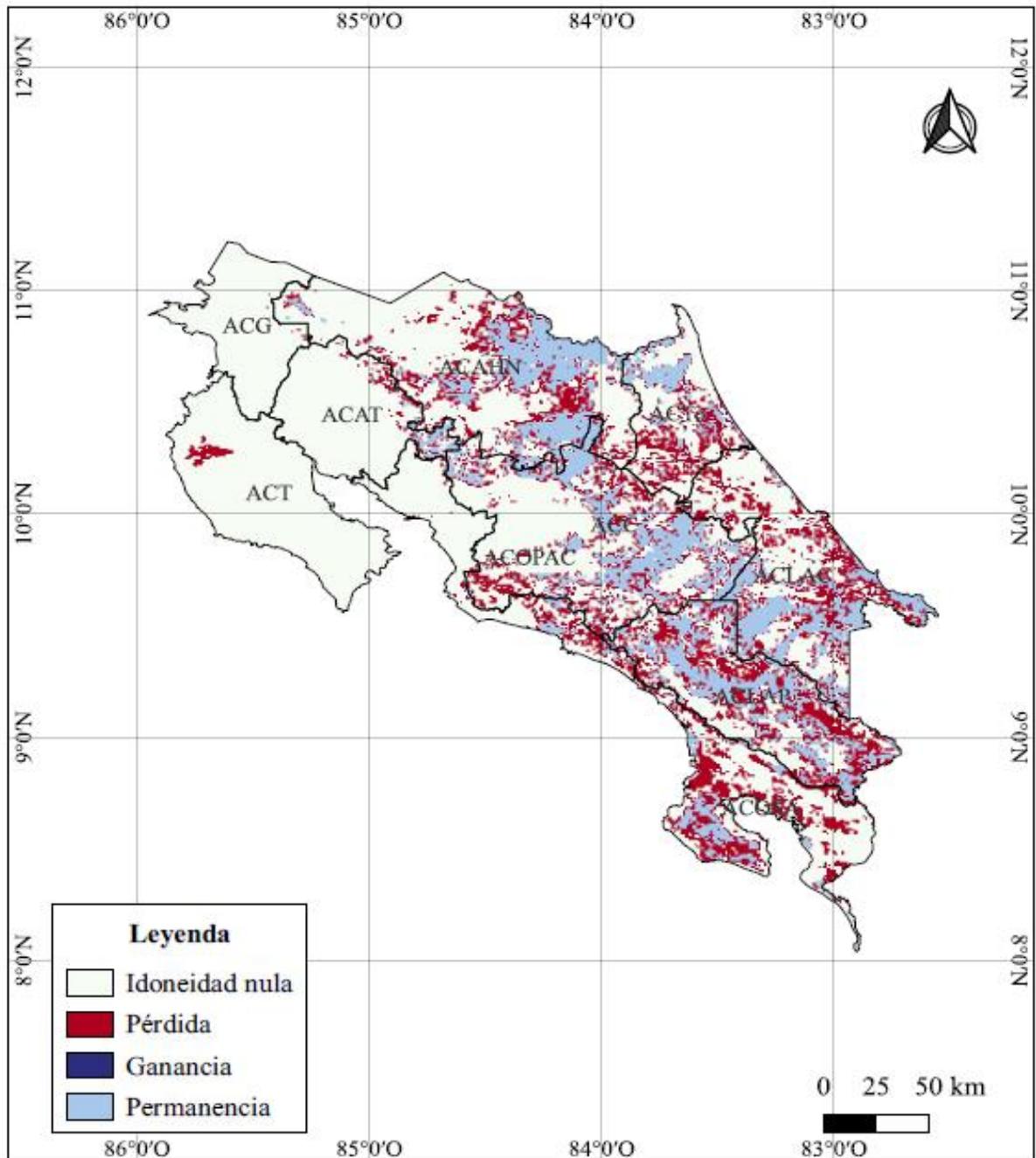
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 10. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia ferruginea* a escenario SSP2 al 2050.



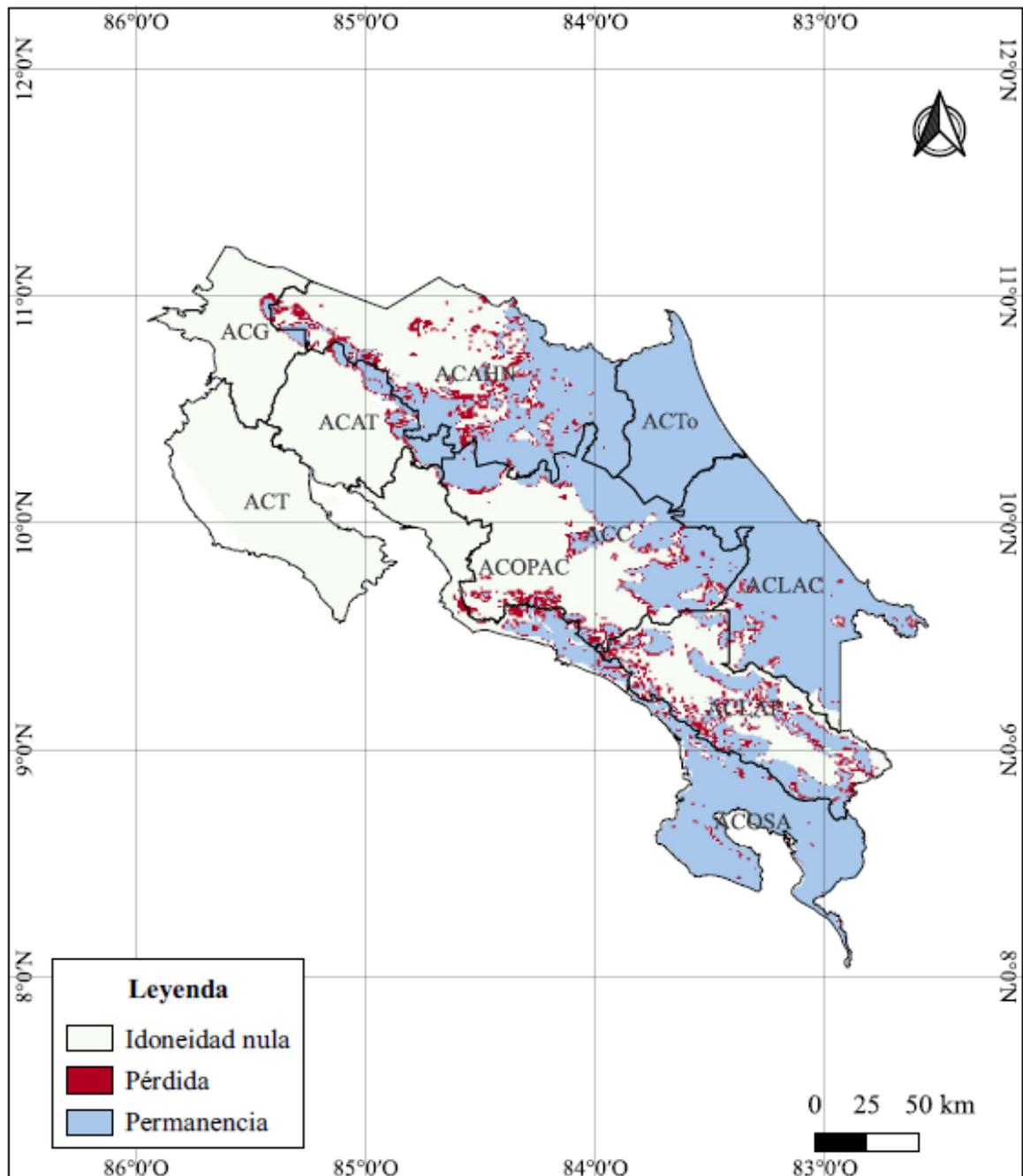
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 11. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia ferruginea* a escenario SSP3 al 2050



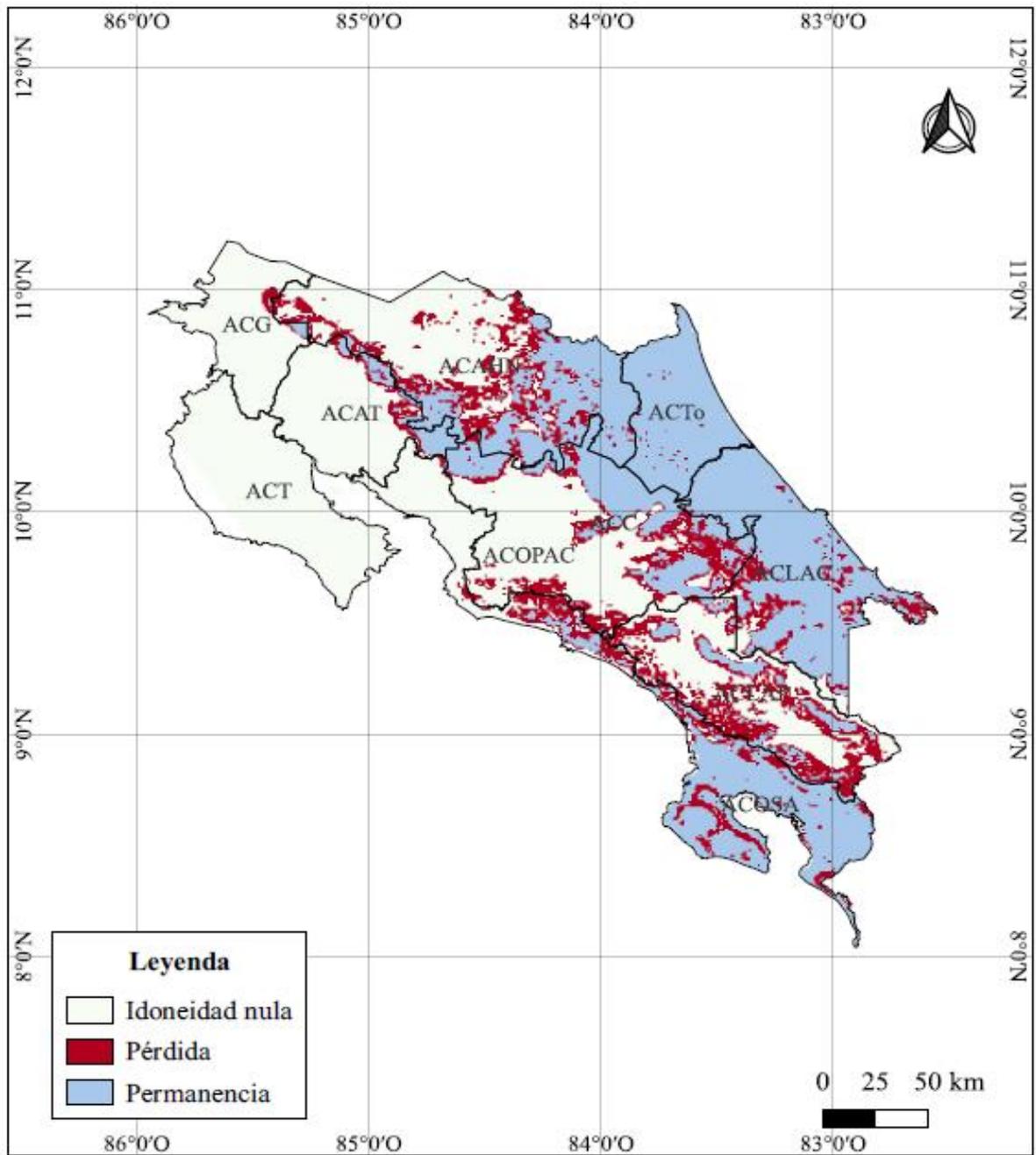
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 12. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Hieronyma alchorneoides* a escenario SSP2 al 2050.



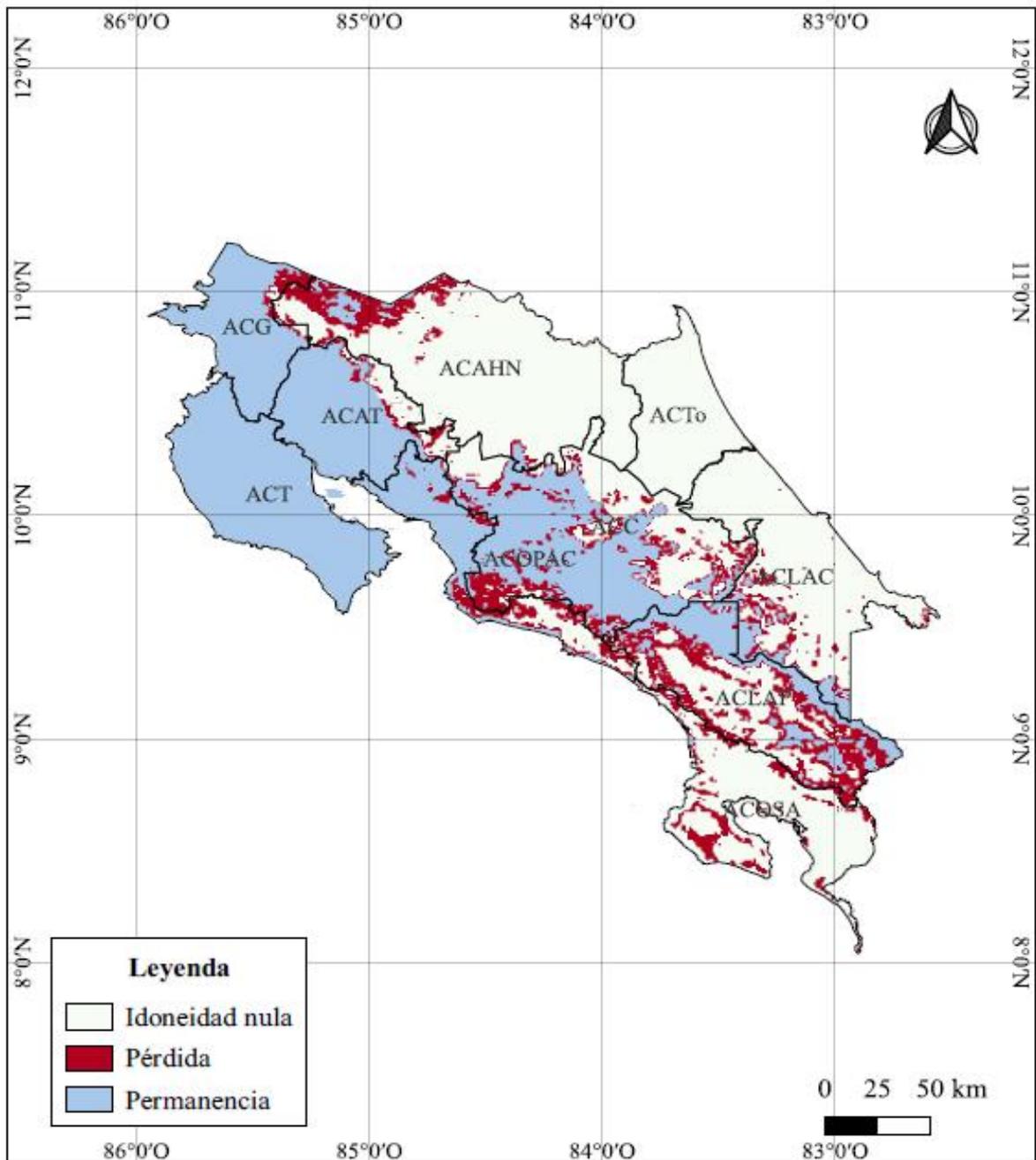
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 13. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Hieronyma alchorneoides* a escenario SSP3 al 2050.



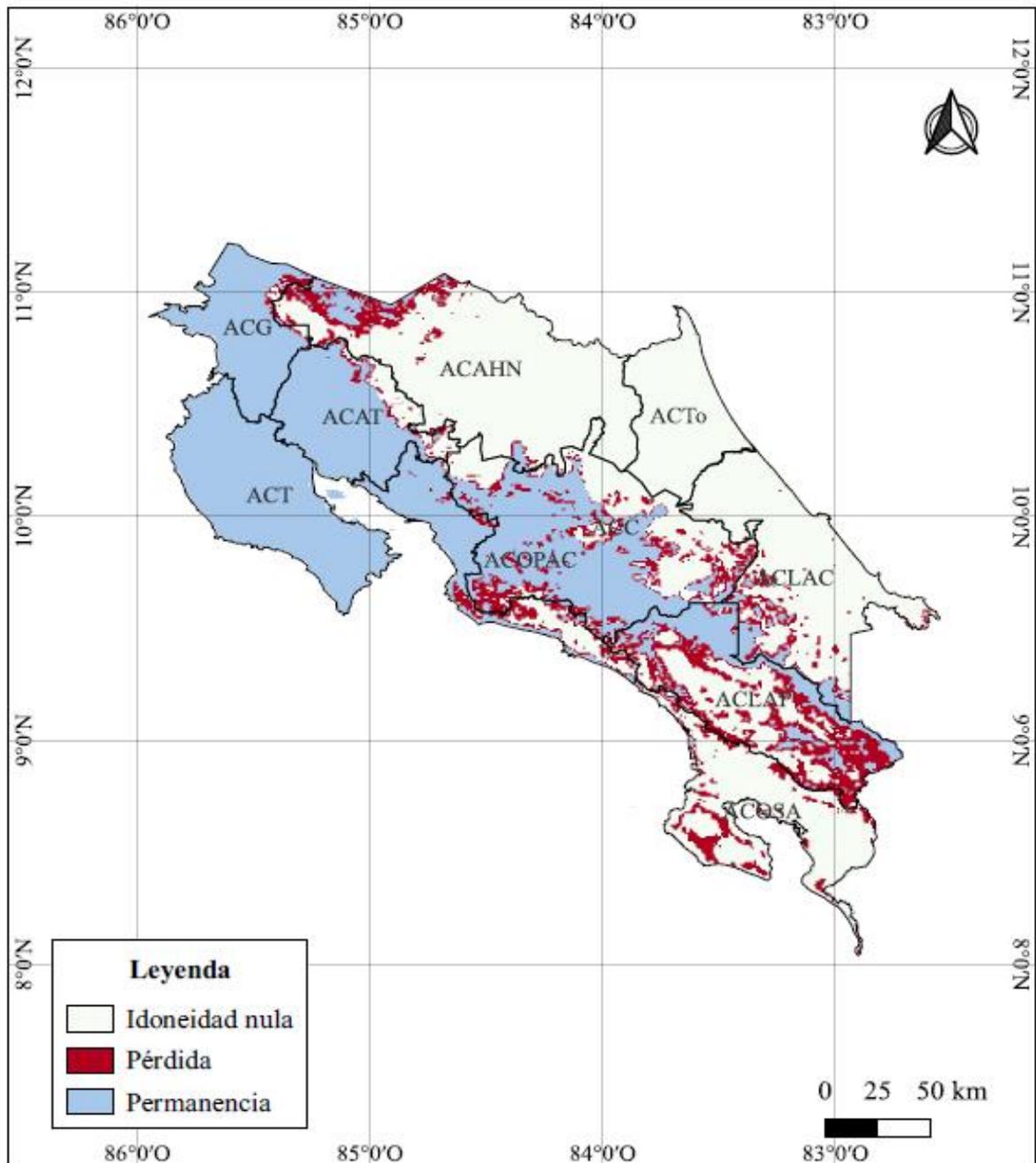
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 14. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Dalbergia retusa* a escenario SSP2 al 2050.



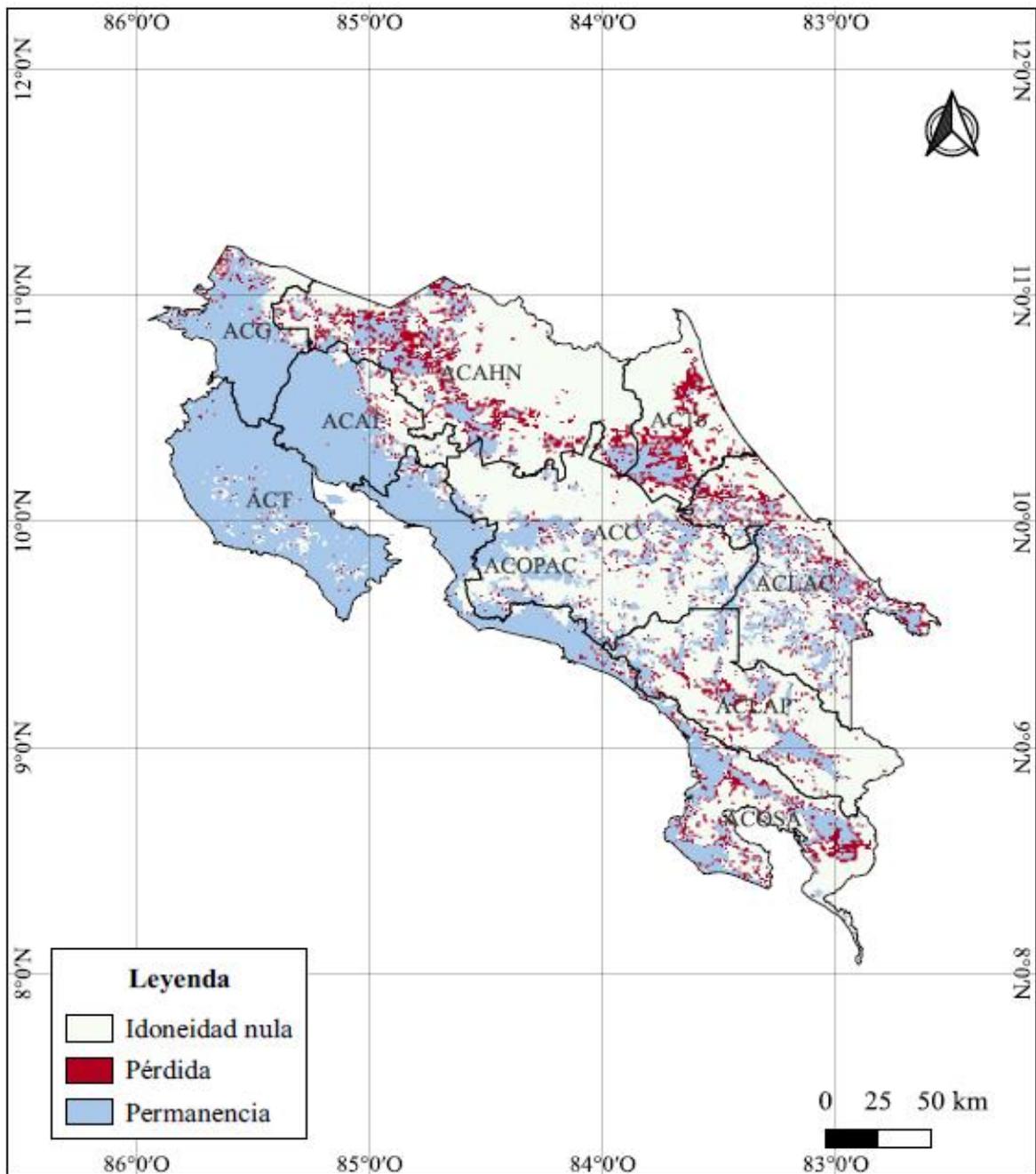
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 15. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Dalbergia retusa* a escenario SSP3 al 2050.



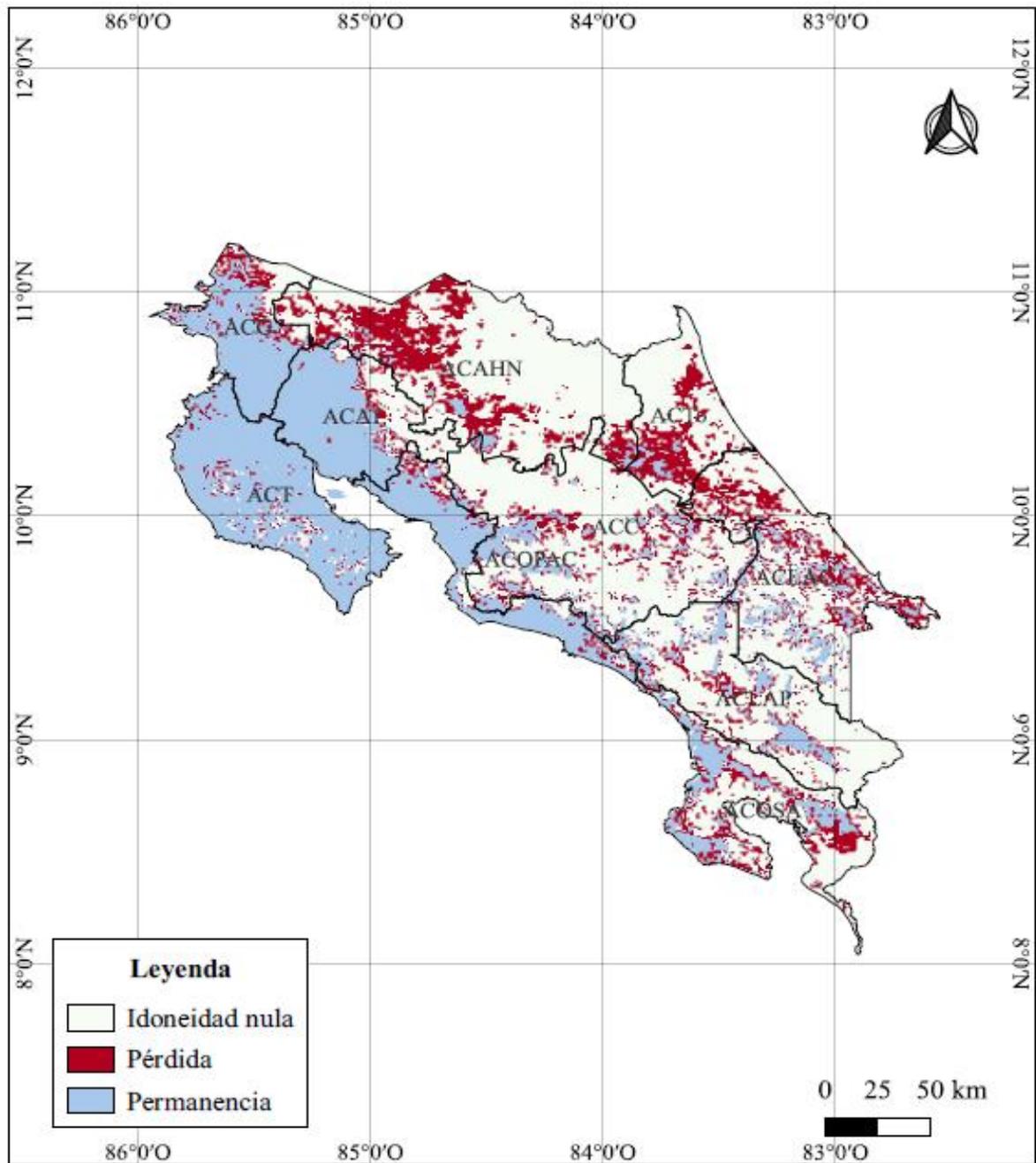
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 16. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Samanea saman* a escenario SSP2 al 2050.



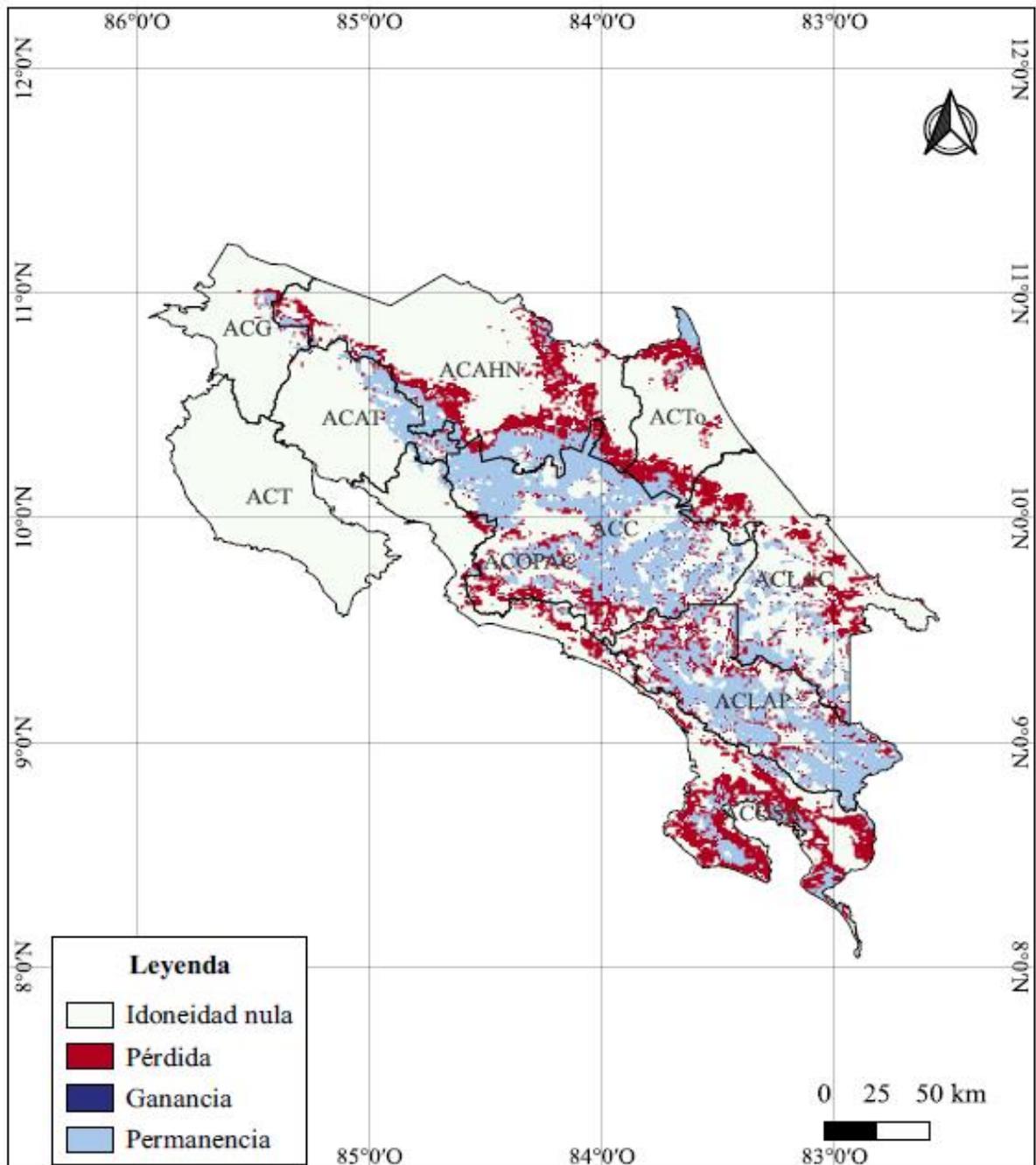
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 17. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Samanea saman* a escenario SSP3 al 2050.



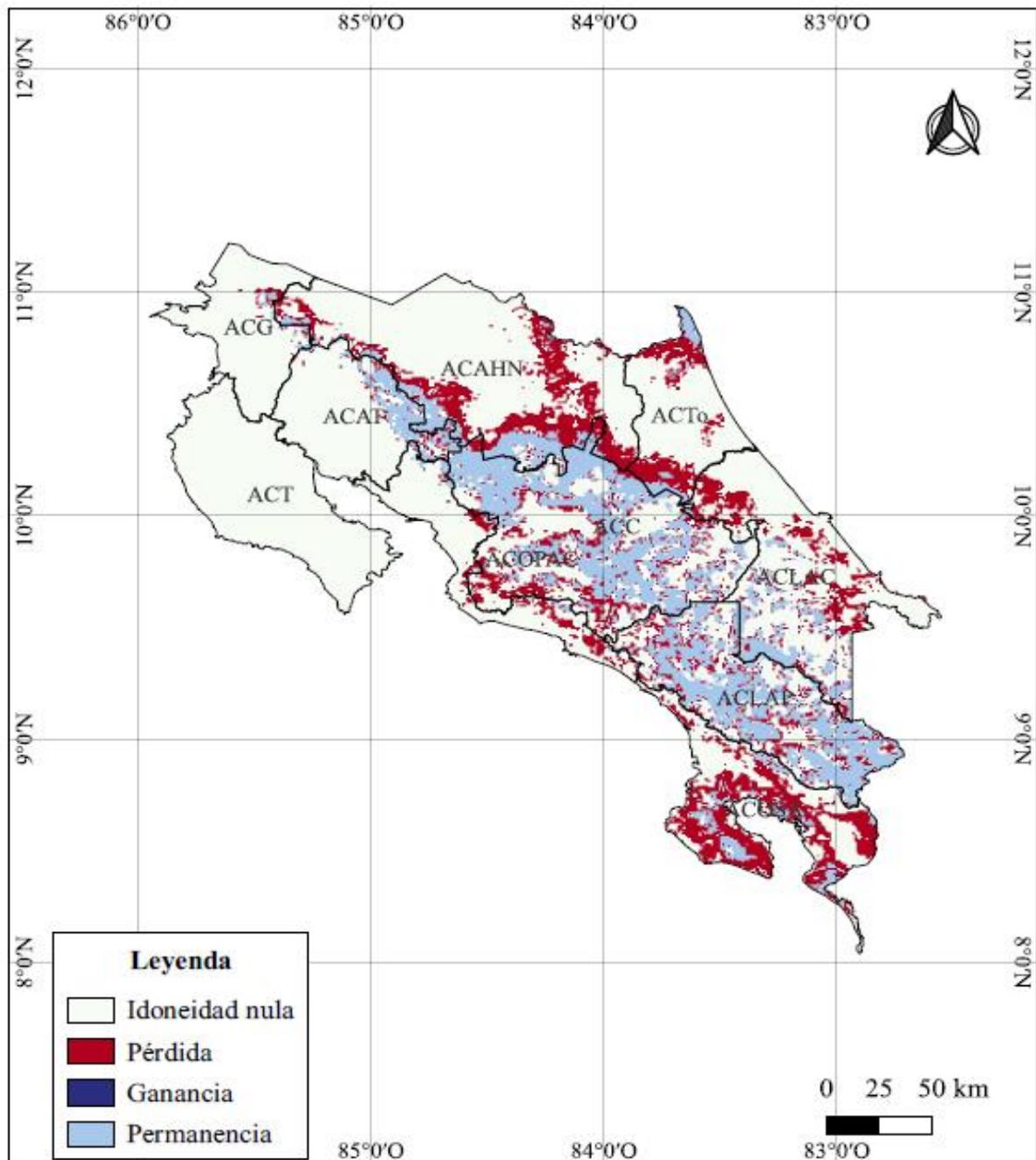
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 18. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia guatemalensis* a escenario SSP2 al 2050.



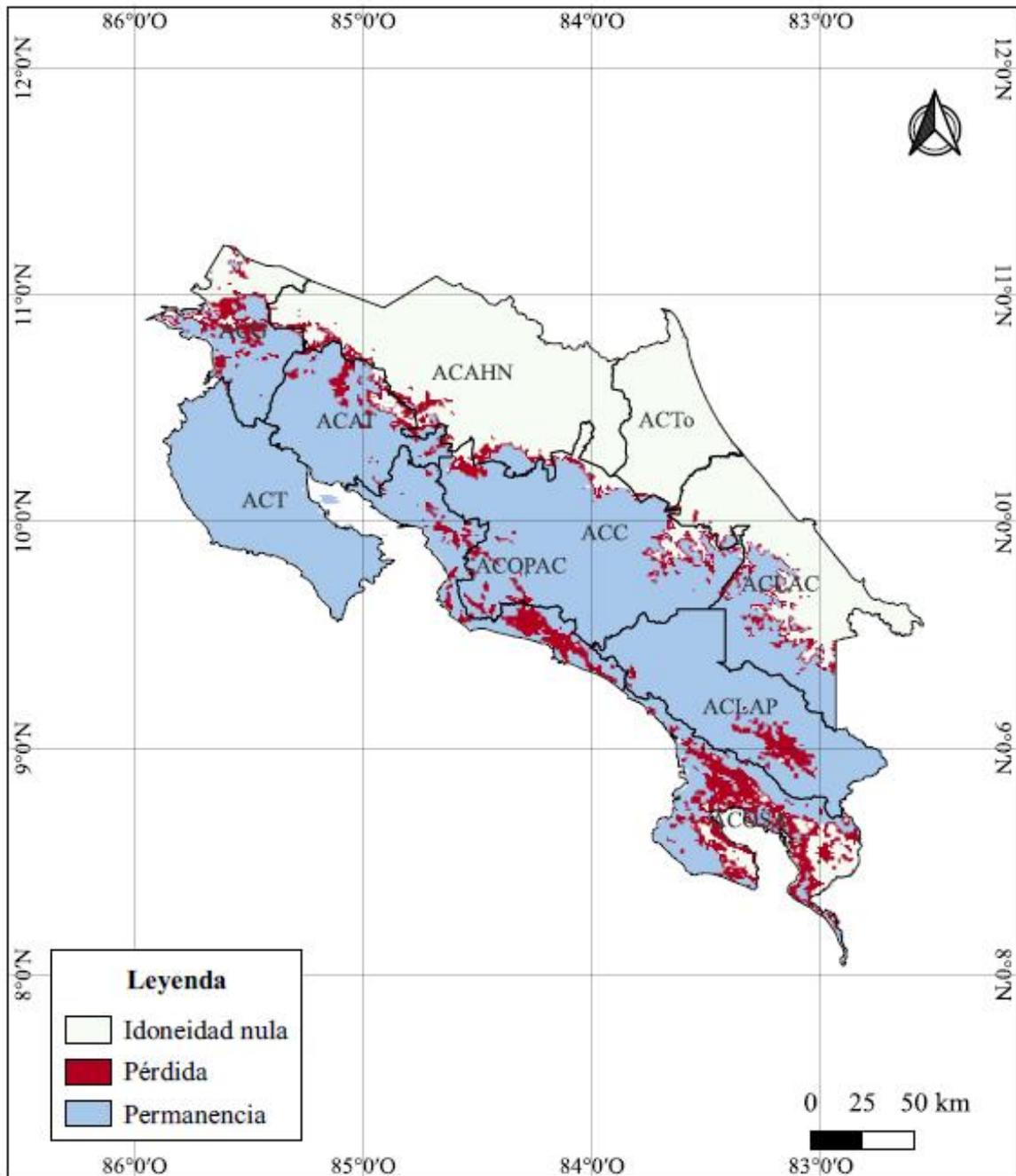
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 19. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia guatemalensis* a escenario SSP3 al 2050.



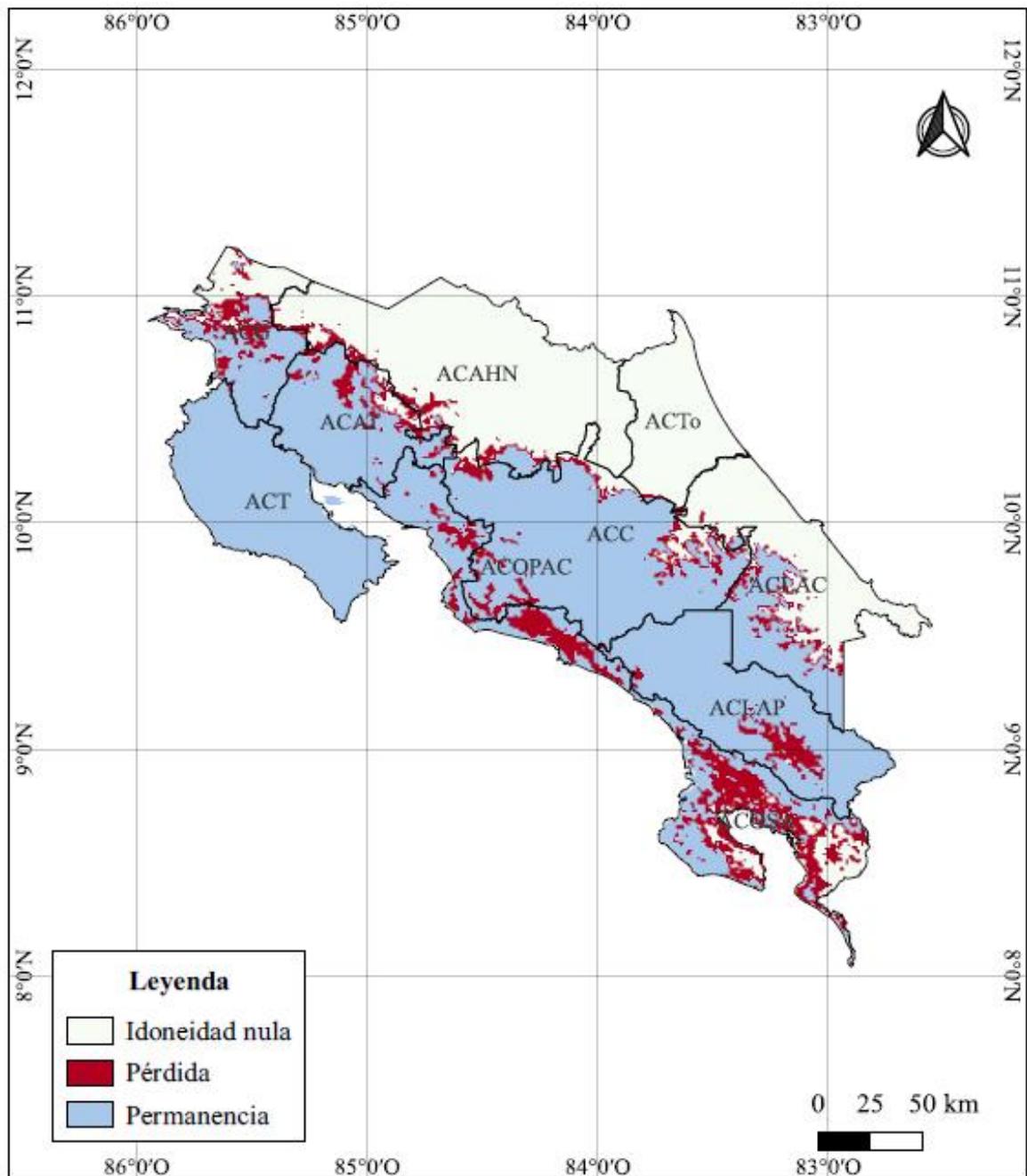
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 20. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Cedrela odorata* a escenario SSP2 al 2050.



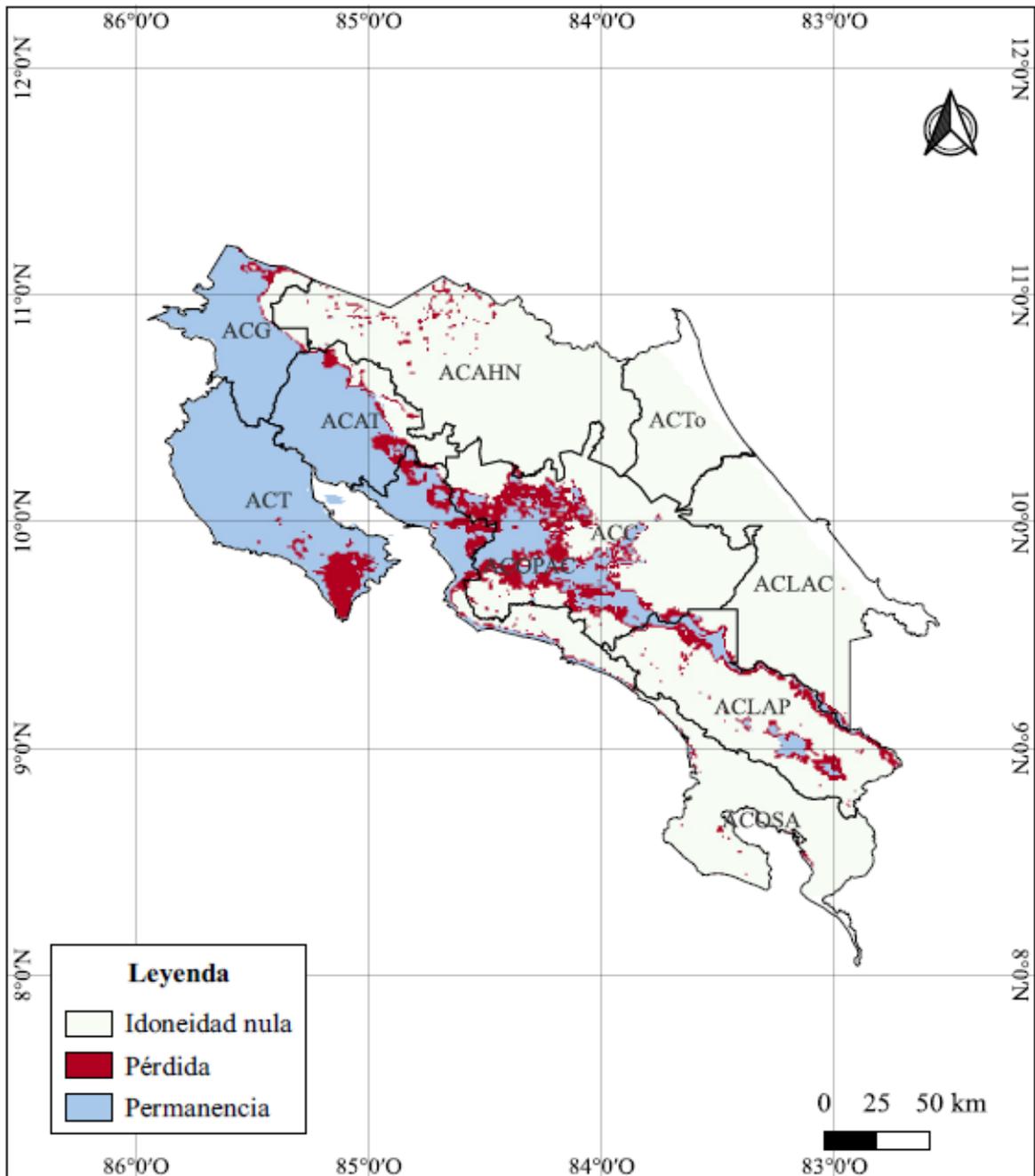
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 21. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Cedrela odorata* a escenario SSP3 al 2050.



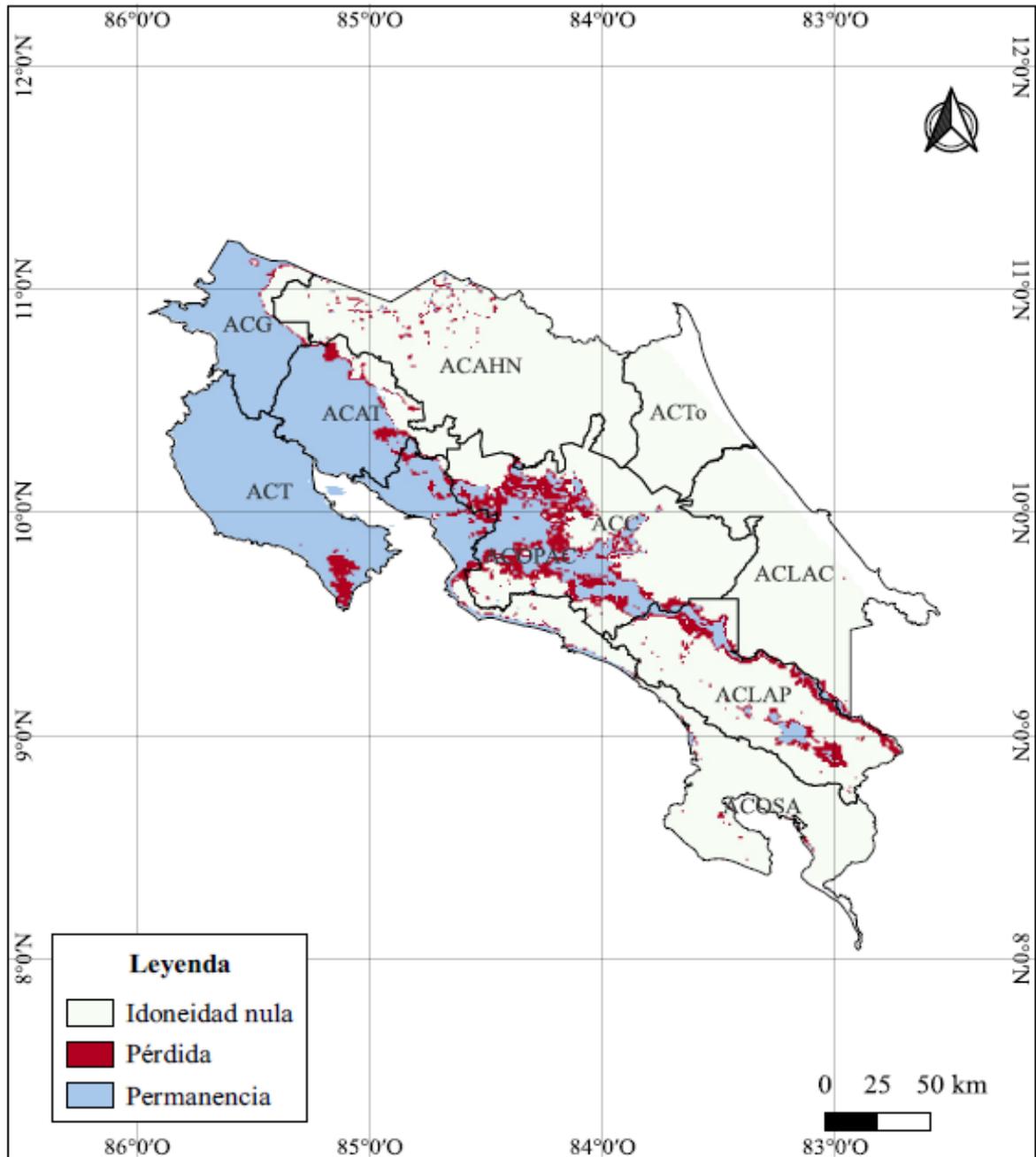
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 22. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Swietenia macrophylla* a escenario SSP2 al 2050.



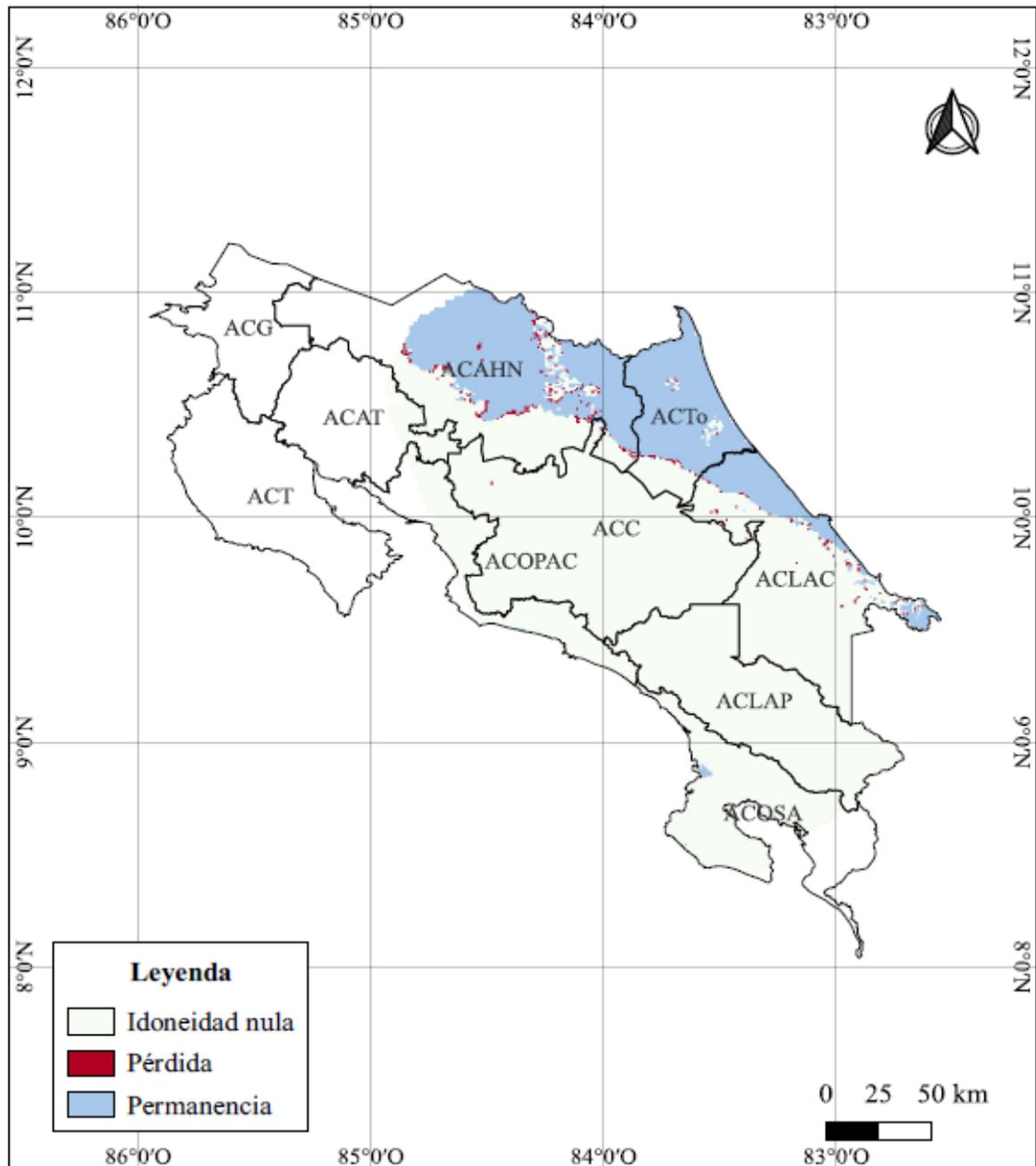
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 23. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Swietenia macrophylla* a escenario SSP3 al 2050.



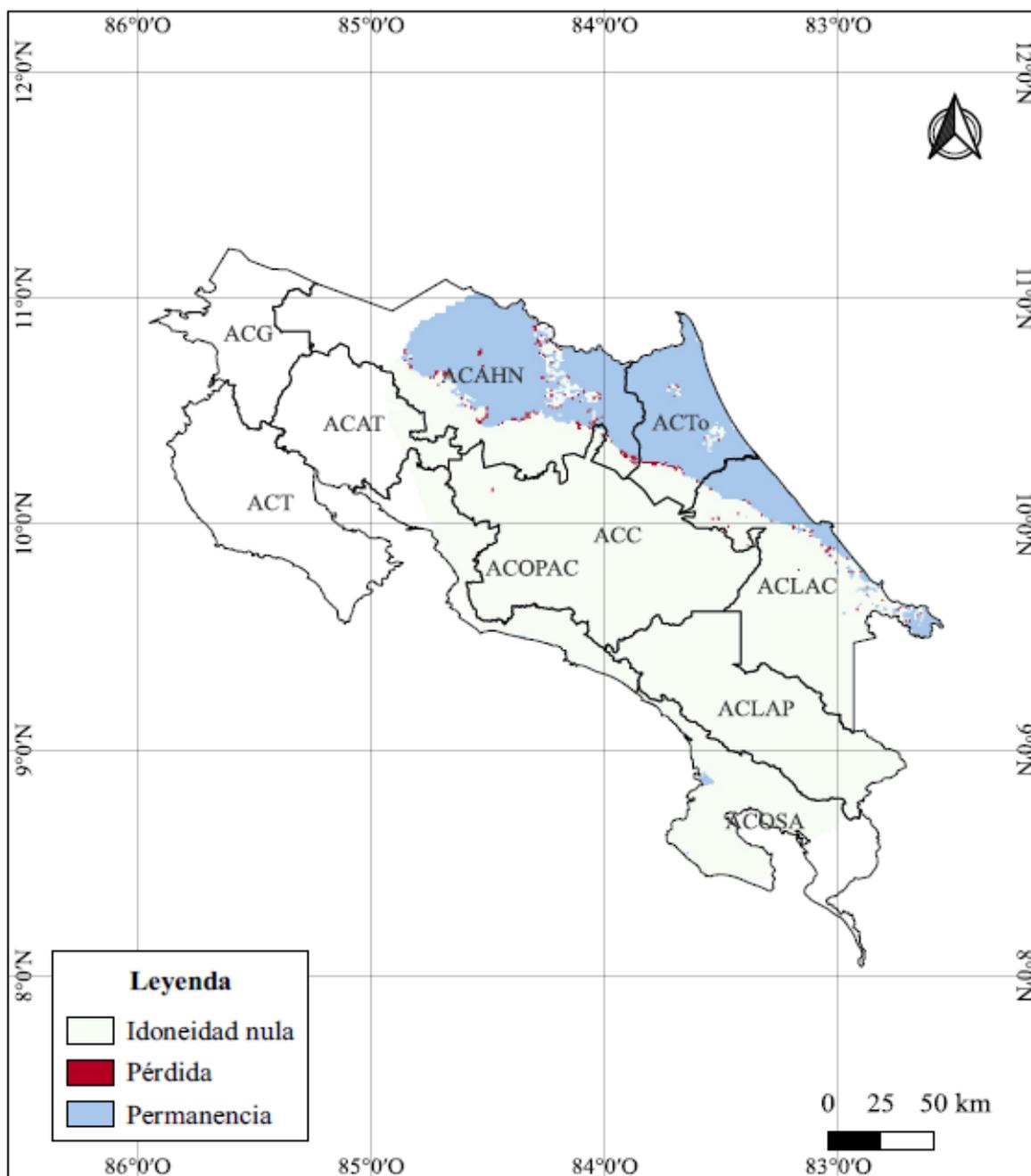
Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 24. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Dipteryx oleifera* a escenario SSP2 al 2050.



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 25. Mapa de cambios de idoneidad de hábitat para *Dipteryx oleifera* a escenario SSP3 al 2050.



Elaborado por:
Sandy Lizana Rojas
Sandy.Lizana@catie.ac.cr

Anexo 26. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Enterolobium cyclocarpum* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	209484	49.42	14812	3.49	199581	47.08	423877	8.38
Tempisque	11511	2.25	0	0.00	500646	97.75	512157	10.13
Guanacaste	14812	5.09	1354	0.47	274995	94.45	291162	5.76
Tortuguero	276180	99.94	0	0.00	169	0.06	276350	5.47
La Amistad Pacífico	358196	64.39	14135	2.54	183923	33.06	556254	11.00
Pacífico Central	30640	11.11	1862	0.68	243255	88.21	275757	5.45
Central	573775	66.19	8972	1.03	284136	32.78	866883	17.15
Arenal Tempisque	63057	17.12	2285	0.62	302927	82.26	368269	7.28
La Amistad Caribe	588502	99.71	1016	0.17	677	0.11	590195	11.67
Arenal Huetar Norte	418037	46.71	22176	2.48	454686	50.81	894899	17.70
Total	2544194	50.32	66612	1.32	2444996	48.36	5055801	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 27. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Enterolobium cyclocarpum* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	209484	49.42	8041	1.90	206352	48.68	423877	8.38
Tempisque	11511	2.25	0	0.00	500646	97.75	512157	10.13
Guanacaste	14812	5.09	1270	0.44	275080	94.48	291162	5.76
Tortuguero	276180	99.94	0	0.00	169	0.06	276350	5.47
La Amistad Pacífico	358196	64.39	7110	1.28	190948	34.33	556254	11.00
Pacífico Central	30640	11.11	592	0.21	244525	88.67	275757	5.45
Central	573775	66.19	4147	0.48	288961	33.33	866883	17.15
Arenal Tempisque	63057	17.12	1862	0.51	303350	82.37	368269	7.28
La Amistad Caribe	588502	99.71	1016	0.17	677	0.11	590195	11.67
Arenal Huetar Norte	418037	46.71	18959	2.12	457902	51.17	894899	17.70
Total	2544194	50.32	42997	0.85	2468610	48.83	5055801	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 28. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Cordia alliodora* a escenarios SSP2 y SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	268563	63.36	155314	36.64	423877	8.31
Tempisque	16505	3.22	495652	96.78	512157	10.04
Guanacaste	8379	2.88	282782	97.12	291162	5.71
Tortuguero	189086	61.95	116126	38.05	305212	5.98
La Amistad Pacífico	206945	37.20	349309	62.80	556254	10.91
Pacífico Central	32417	11.76	243340	88.24	275757	5.41
Central	462388	53.34	404495	46.66	866883	16.99
Arenal Tempisque	25646	6.96	342623	93.04	368269	7.22
La Amistad Caribe	452570	74.64	153791	25.36	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	95135	10.63	799763	89.37	894899	17.54
Total	1757634.2	34.46	3343195.36	65.54	5100830	100.00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 29. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia ferruginea* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	236569	55.81	144988	34.21	42320	9.98	423877	8.31
Tempisque	500730	97.77	11342	2.21	85	0.02	512157	10.04
Guanacaste	289892	99.56	846	0.29	423	0.15	291162	5.71
Tortuguero	170634	55.91	103515	33.92	31063	10.18	305212	5.98
La Amistad Pacífico	180960	32.53	153960	27.68	221334	39.79	556254	10.91
Pacífico Central	223873	81.18	38511	13.97	13373	4.85	275757	5.41
Central	475931	54.90	148205	17.10	242748	28.00	866883	16.99
Arenal Tempisque	331789	90.09	23699	6.44	12781	3.47	368269	7.22
La Amistad Caribe	293447	48.39	174020	28.70	138894	22.91	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	533994	59.67	213039	23.81	147866	16.52	894899	17.54
Total	3237819	63.48	1012125	19.84	850886	16.68	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 30. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia ferruginea* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	236569	55.81	135170	31.89	0	0.00	52138	12.30	423877	8.31
Tempisque	500730	97.77	11426	2.23	0	0.00	0	0.00	512157	10.04
Guanacaste	289892	99.56	846	0.29	0	0.00	423	0.15	291162	5.71
Tortuguero	170634	55.91	73975	24.24	0	0.00	60602	19.86	305212	5.98
La Amistad Pacífico	180960	32.53	185362	33.32	0	0.00	189932	34.14	556254	10.91
Pacífico Central	223873	81.18	35126	12.74	0	0.00	16759	6.08	275757	5.41
Central	475931	54.90	160731	18.54	0	0.00	230221	26.56	866883	16.99
Arenal Tempisque	331789	90.09	17690	4.80	0	0.00	18790	5.10	368269	7.22
La Amistad Caribe	293362	48.38	153706	25.35	85	0.01	159208	26.26	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	533994	59.67	145496	16.26	0	0.00	215409	24.07	894899	17.54
Total	3237734	63.47	919529	18.03	85	0.00	943482	18.50	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 31. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Hieronyma alchorneoides* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	6687	1.58	10241	2.42	406949	96.01	423877	8.39
Tempisque	463827	100.00	0	0.00	0	0.00	463827	9.18
Guanacaste	277704	95.38	4401	1.51	9056	3.11	291162	5.76
Tortuguero	0	0.00	0	0.00	305212	100.00	305212	6.04
La Amistad Pacífico	288961	51.95	77953	14.01	189340	34.04	556254	11.01
Pacífico Central	197804	71.73	21329	7.73	56624	20.53	275757	5.46
Central	455363	52.53	67458	7.78	344062	39.69	866883	17.16
Arenal Tempisque	294209	79.89	14897	4.05	59163	16.07	368269	7.29
La Amistad Caribe	30724	5.07	17520	2.89	558116	92.04	606361	12.00
Arenal Huetar Norte	397977	44.47	92427	10.33	404495	45.20	894899	17.71
Total	2413256	47.76	306228	6.06	2333017	46.18	5052500	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 32. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Hieronyma alchorneoides* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	6687	1.58	74652	17.61	342538	80.81	423877	8.39
Tempisque	463827	100.00	0	0.00	0	0.00	463827	9.18
Guanacaste	277704	95.38	8041	2.76	5417	1.86	291162	5.76
Tortuguero	0	0.00	2793	0.92	302419	99.08	305212	6.04
La Amistad Pacífico	288961	51.95	192302	34.57	74991	13.48	556254	11.01
Pacífico Central	197804	71.73	54762	19.86	23191	8.41	275757	5.46
Central	455363	52.53	159631	18.41	251889	29.06	866883	17.16
Arenal Tempisque	294209	79.89	27423	7.45	46637	12.66	368269	7.29
La Amistad Caribe	30724	5.07	78969	13.02	496668	81.91	606361	12.00
Arenal Huetar Norte	397977	44.47	184515	20.62	312406	34.91	894899	17.71
Total	2413256	47.76	783089	15.50	1856155	36.74	5052500	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 33. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Dalbergia retusa* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	352102	83.07	69828	16.47	1947	0.46	423877	8.31
Tempisque	0	0.00	0	0.00	512157	100.00	512157	10.04
Guanacaste	6856	2.35	17436	5.99	266870	91.66	291162	5.708
Tortuguero	305212	100.00	0	0.00	0	0.00	305212	5.984
La Amistad Pacífico	203898	36.66	188916	33.96	163440	29.38	556254	10.91
Pacífico Central	52561	19.06	57217	20.75	165979	60.19	275757	5.406
Central	277619	32.02	151167	17.44	438097	50.54	866883	16.99
Arenal Tempisque	55185	14.99	21075	5.72	292008	79.29	368269	7.22
La Amistad Caribe	510125	84.13	48499	8.00	47737	7.87	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	768531	85.88	93527	10.45	32840	3.67	894899	17.54
Total	2532090	49.64	647665	12.70	1921074	37.66	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 34. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Dalbergia retusa* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	352102	83.07	68558	16.17	3216	0.76	423877	8.31
Tempisque	0	0.00	0	0.00	512157	100.00	512157	10.04
Guanacaste	6856	2.35	11088	3.81	273218	93.84	291162	5.708
Tortuguero	305212	100.00	0	0.00	0	0.00	305212	5.984
La Amistad Pacífico	203898	36.66	196280	35.29	156076	28.06	556254	10.91
Pacífico Central	52561	19.06	43674	15.84	179521	65.10	275757	5.406
Central	277619	32.02	129415	14.93	459849	53.05	866883	16.99
Arenal Tempisque	55185	14.99	16843	4.57	296240	80.44	368269	7.22
La Amistad Caribe	510125	84.13	47991	7.91	48245	7.96	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	768531	85.88	77276	8.64	49091	5.49	894899	17.54
Total	2532090	49.64	591126	11.59	1977614	38.77	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 35. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Samanea saman* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	222180	52.42	61364	14.48	140333	33.11	423877	8.31
Tempisque	24461	4.78	5756	1.12	481940	94.10	512157	10.04
Guanacaste	47737	16.40	15320	5.26	228105	78.34	291162	5.71
Tortuguero	208045	68.16	60433	19.80	36734	12.04	305212	5.98
La Amistad Pacífico	409150	73.55	46637	8.38	100468	18.06	556254	10.91
Pacífico Central	43251	15.68	9649	3.50	222857	80.82	275757	5.41
Central	630399	72.72	41135	4.75	195349	22.53	866883	16.99
Arenal Tempisque	91411	24.82	12527	3.40	264331	71.78	368269	7.22
La Amistad Caribe	365560	60.29	82863	13.67	157938	26.05	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	638101	71.30	129415	14.46	127383	14.23	894899	17.54
Total	2680295	52.55	465097	9.12	1955438	38.34	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 36. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Samanea saman* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	222180	52.42	90988	21.47	110709	26.12	423877	8.31
Tempisque	24461	4.78	21583	4.21	466112	91.01	512157	10.04
Guanacaste	47737	16.40	41558	14.27	201866	69.33	291162	5.71
Tortuguero	208045	68.16	84809	27.79	12357	4.05	305212	5.98
La Amistad Pacífico	409150	73.55	57978	10.42	89126	16.02	556254	10.91
Pacífico Central	43251	15.68	28693	10.41	203813	73.91	275757	5.41
Central	630399	72.72	107916	12.45	128568	14.83	866883	16.99
Arenal Tempisque	91411	24.82	26746	7.26	250111	67.92	368269	7.22
La Amistad Caribe	365560	60.29	145242	23.95	95559	15.76	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	638101	71.30	230983	25.81	25815	2.88	894899	17.54
Total	2680295	52.55	836497	16.40	1584038	31.05	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 37. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia guatemalensis* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	178421	42.09	179606	42.37	0	0.00	65850	15.54	423877	8.32
Tempisque	504116	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	504116	9.90
Guanacaste	275926	94.77	6517	2.24	0	0.00	8718	2.99	291162	5.72
Tortuguero	213208	69.86	63311	20.74	0	0.00	28693	9.40	305212	5.99
La Amistad Pacífico	176474	31.73	89041	16.01	169	0.03	290569	52.24	556254	10.92
Pacífico Central	225396	81.74	33348	12.09	0	0.00	17013	6.17	275757	5.41
Central	348801	40.24	109609	12.64	4401	0.51	404071	46.61	866883	17.02
Arenal Tempisque	292431	79.41	9734	2.64	0	0.00	66104	17.95	368269	7.23
La Amistad Caribe	410589	67.71	104700	17.27	1947	0.32	89126	14.70	606361	11.91
Arenal Huetar Norte	625744	69.92	166572	18.61	0	0.00	102584	11.46	894899	17.57
Total	3251107	63.84	762437	14.97	6517	0.13	1072727	21.06	5092789	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 38. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Vochysia guatemalensis* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Ganancia (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	178421	42.09	192725	45.47	0	0.00	52731	12.44	423877	8.32
Tempisque	504116	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	504116	9.90
Guanacaste	275926	94.77	7533	2.59	0	0.00	7702	2.65	291162	5.72
Tortuguero	213208	69.86	69659	22.82	0	0.00	22345	7.32	305212	5.99
La Amistad Pacífico	176644	31.76	86333	15.52	0	0.00	293278	52.72	556254	10.92
Pacífico Central	225396	81.74	36480	13.23	0	0.00	13881	5.03	275757	5.41
Central	353203	40.74	140587	16.22	0	0.00	373093	43.04	866883	17.02
Arenal Tempisque	292431	79.41	14812	4.02	0	0.00	61025	16.57	368269	7.23
La Amistad Caribe	412281	67.99	109863	18.12	254	0.04	83963	13.85	606361	11.91
Arenal Huetar Norte	625744	69.92	187562	20.96	0	0.00	81593	9.12	894899	17.57
Total	3257370	63.96	845554	16.60	254	0.00	989611	19.43	5092789	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 39. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Cedrela odorata* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	76684	18.09	155145	36.60	192048	45.31	423877	8.31
Tempisque	0	0.00	592	0.12	511564	99.88	512157	10.04
Guanacaste	80916	27.79	54508	18.72	155738	53.49	291162	5.708
Tortuguero	302673	99.17	1439	0.47	1100	0.36	305212	5.984
La Amistad Pacífico	592	0.11	37665	6.77	517997	93.12	556254	10.91
Pacífico Central	85	0.03	62549	22.68	213124	77.29	275757	5.406
Central	65596	7.57	63649	7.34	737638	85.09	866883	16.99
Arenal Tempisque	15404	4.18	40458	10.99	312406	84.83	368269	7.22
La Amistad Caribe	373008	61.52	41389	6.83	191964	31.66	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	820416	91.68	41135	4.60	33348	3.73	894899	17.54
Total	1735374	34.02	498530	9.77	2866926	56.21	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 40. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Cedrela odorata* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	76684	18.09	168941	39.86	178252	42.05	423877	8.31
Tempisque	0	0.00	677	0.13	511480	99.87	512157	10.04
Guanacaste	80916	27.79	58063	19.94	152183	52.27	291162	5.708
Tortuguero	302673	99.17	1608	0.53	931	0.31	305212	5.984
La Amistad Pacífico	592	0.11	42743	7.68	512918	92.21	556254	10.91
Pacífico Central	85	0.03	74229	26.92	201443	73.05	275757	5.406
Central	65596	7.57	76091	8.78	725196	83.66	866883	16.99
Arenal Tempisque	15404	4.18	47991	13.03	304873	82.79	368269	7.22
La Amistad Caribe	373008	61.52	46467	7.66	186885	30.82	606361	11.89
Arenal Huetar Norte	820416	91.68	44521	4.97	29963	3.35	894899	17.54
Total	1735374	34.02	561332	11.00	2804123	54.97	5100830	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 41. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Swietenia macrophylla* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	405256	98.15	6009	1.46	1608	0.39	412874	8.37
Tempisque	0	0.00	51376	10.03	460780	89.97	512157	10.38
Guanacaste	30470	10.47	12442	4.27	248249	85.26	291162	5.902
Tortuguero	240716	100.00	0	0.00	0	0.00	240716	4.88
La Amistad Pacífico	443937	79.81	69405	12.48	42912	7.71	556254	11.28
Pacífico Central	99029	35.91	51123	18.54	125606	45.55	275757	5.59
Central	525614	60.63	173597	20.03	167672	19.34	866883	17.57
Arenal Tempisque	84725	23.01	28354	7.70	255190	69.29	368269	7.466
La Amistad Caribe	505893	98.44	4401	0.86	3640	0.71	513934	10.42
Arenal Huetar Norte	872892	97.54	19721	2.20	2285	0.26	894899	18.14
Total	3208533	65.04	416429	8.44	1307942	26.51	4932904	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 42. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Swietenia macrophylla* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	405256	98.15	4824	1.17	2793	0.68	412874	8.37
Tempisque	0	0.00	20737	4.05	491420	95.95	512157	10.38
Guanacaste	30470	10.47	5756	1.98	254936	87.56	291162	5.902
Tortuguero	240716	100.00	0	0.00	0	0.00	240716	4.88
La Amistad Pacífico	443937	79.81	72452	13.02	39865	7.17	556254	11.28
Pacífico Central	99029	35.91	28016	10.16	148712	53.93	275757	5.59
Central	525614	60.63	152183	17.56	189086	21.81	866883	17.57
Arenal Tempisque	84725	23.01	21922	5.95	261622	71.04	368269	7.466
La Amistad Caribe	505893	98.44	4740	0.92	3301	0.64	513934	10.42
Arenal Huetar Norte	872892	97.54	16166	1.81	5840	0.65	894899	18.14
Total	3208533	65.04	326795	6.62	1397576	28.33	4932904	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 43. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Dipteryx oleifera* a escenario SSP2 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	310121	99.00	0	0.00	3132	1.00	313253	8.65
Tempisque	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Guanacaste	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Tortuguero	51884	17.00	2370	0.78	250958	82.22	305212	8.42
La Amistad Pacífico	553038	100.00	0	0.00	0	0.00	553038	15.26
Pacífico Central	217017	99.73	0	0.00	592	0.27	217609	6.01
Central	864767	99.76	508	0.06	1608	0.19	866883	23.93
Arenal Tempisque	62464	100.00	0	0.00	0	0.00	62464	1.72
La Amistad Caribe	478385	78.89	5586	0.92	122389	20.18	606361	16.74
Arenal Huetar Norte	258914	37.09	16505	2.36	422692	60.55	698111	19.27
Total	2796590	77.19	24969	0.69	801372	22.12	3622931	100

Fuente: elaboración propia.

Anexo 44. Superficie de cambios de idoneidad de hábitat para *Dipteryx oleifera* a escenario SSP3 al 2050.

Área de conservación	Idoneidad nula (ha)	%	Pérdida (ha)	%	Permanencia (ha)	%	Total (ha)	Total %
Osa	310121	99.00	0	0.00	3132	1.00	313253	8.65
Tempisque	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Guanacaste	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Tortuguero	51884	17.00	2878	0.94	250450	82.06	305212	8.42
La Amistad Pacífico	553038	100.00	0	0.00	0	0.00	553038	15.26
Pacífico Central	217017	99.73	0	0.00	592	0.27	217609	6.01
Central	864767	99.76	508	0.06	1608	0.19	866883	23.93
Arenal Tempisque	62464	100.00	0	0.00	0	0.00	62464	1.72
La Amistad Caribe	478385	78.89	3809	0.63	124167	20.48	606361	16.74
Arenal Huetar Norte	258914	37.09	13204	1.89	425993	61.02	698111	19.27
Total	2796590	77.19	20398	0.56	805942	22.25	3622931	100

Fuente: elaboración propia.