

▶▶ **EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA DISTRIBUCIÓN DE 20 ESPECIES
FORESTALES MADERABLES DE LA
REGIÓN AMAZÓNICA DEL PERÚ**




PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

SERFOR Servicio
Nacional
Forestal y
de Fauna
Silvestre



BICENTENARIO
PERÚ 2021



**▶▶ EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA DISTRIBUCIÓN DE 20 ESPECIES
FORESTALES MADERABLES DE LA
REGIÓN AMAZÓNICA DEL PERÚ**

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISTRIBUCIÓN DE 20 ESPECIES FORESTALES MADERABLES DE LA REGIÓN AMAZÓNICA DEL PERÚ

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego
Federico Bernardo Tenorio Calderón

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego
José Alberto Muro Ventura

Viceministra de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario
María Isabel Remy Simatovic

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR)

Director Ejecutivo (e)
José Alberto Muro Ventura

Programa de Desarrollo Forestal Sostenible, Inclusivo y Competitivo en la Amazonía Peruana

Directora Ejecutiva
Nelly Paredes Del Castillo

Proyecto de Inversión "Manejo forestal sostenible"

Elaboración:

Viviana Ceccarelli – Biodiversity International
Tobias Fremout – Biodiversity International y KU Leuven Bélgica, División de Bosque, Naturaleza y Paisaje
Evert Thomas - Biodiversity International
Patricia Duran Montesinos – SERFOR
Alex Arana Olivos – SERFOR
Carlos Candia Dipaz – OSINFOR
Boris Villa Zegarra – OSINFOR
David Blas Jaime – OSINFOR
Julio Ugarte Guerra

Revisión de contenido:

Renzo Barrón Meneses
Vanessa Moreano Rodríguez

Diseño y diagramación

Negrapata S.A.C.

Primera edición, diciembre 2020
Tiraje: 100 ejemplares

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-10273

Impreso en Negrapata S.A.C.
Jr. Suecia 1470, Urb. San Rafael, Lima, Perú

© Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor)
Av. Javier Prado Oeste N° 2442, Urb. Oarrantia, Magdalena del Mar, Lima, Perú
Teléfono: (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
informes@serfor.gob.pe

Todos los derechos reservados.
Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso.

Referencia sugerida:
SERFOR. 2020. Efectos del cambio climático en la distribución de 20 especies forestales maderables de la región amazónica del Perú. Lima. Perú. 48 pp.

ÍNDICE

1	OBJETIVO Y METODOLOGÍA	6
	Objetivo	6
	Área de estudio	6
	Selección de las 20 especies	6
	Variables ambientales	8
	Metodología para el modelamiento del impacto del cambio climático	9
	Visualización de los resultados con la herramienta en línea	12
2	FICHAS TÉCNICAS DE LAS 20 ESPECIES	13
	<i>Abuta grandifolia</i> (Abuta)	14
	<i>Amburana cearensis</i> (Ishpingo)	16
	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Ana caspi)	18
	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Capirona)	19
	<i>Cedrela odorata</i> (Cedro)	20
	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo)	21
	<i>Ceiba insignis</i> (Lupuna)	23
	<i>Ceiba pentandra</i> (Ceibo)	24
	<i>Clarisia racemosa</i> (Mashonaste)	25
	<i>Croton palanostigma</i> (Sangre de grado)	26
	<i>Dipteryx micrantha</i> (Shihuahuaco)	27
	<i>Handroanthus incanus</i> (Tahuari)	28
	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Tahuari)	29
	<i>Hura crepitans</i> (Catahua)	30
	<i>Manilkara bidentata</i> (Quinilla)	31
	<i>Maytenus macrocarpa</i> (Chuchuhuasi)	32
	<i>Myroxylon balsamum</i> (Estoraque)	34
	<i>Parahancornia peruviana</i> (Naranja podrido)	36
	<i>Simarouba amara</i> (Marupa)	37
	<i>Swietenia macrophylla</i> (Caoba)	38
3	SÍNTESIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS 20 ESPECIES	39
	Cambio neto del área idónea para las 20 especies	39
	Mapa de la pérdida de especies	40
	Sugerencia para áreas prioritarias de conservación	41
	ANEXO 1: Metodología	44
	Bibliografía	47

1

OBJETIVO Y METODOLOGÍA

OBJETIVO

El objetivo del estudio es evaluar los efectos del cambio climático en la distribución de las poblaciones silvestres de 20 especies de árboles.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es el bosque de las regiones amazónicas de Huánuco, Amazonas, Junín, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín y Ucayali.

SELECCIÓN DE LAS 20 ESPECIES

Inicialmente, se colectaron los puntos de presencia de todas las especies de árboles en la Amazonía peruana, según la lista nacional de Perú (Brako & Zarucchi, 1993). Los puntos de presencia fueron obtenidos de las siguientes bases de datos: GBIF (Global Biodiversity Information Facility; www.gbif.org), BIEN (Botanical Information and Ecology Network; <http://biendata.org/>), Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, y la Base de Datos Espaciales del Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR).

Luego de coleccionar los datos, se procedió con la selección de las especies para el modelamiento de acuerdo a los siguientes criterios: (i) que las especies tengan un grado de amenaza según el Decreto Supremo N° 043-2006-AG AG o estén identificadas como especies forestales de acuerdo a la Resolución Ejecutiva N°118-2019-MINAGRI-SERFOR-DE, (ii) que existan como mínimo 15 puntos de presencia, y (iii) que por lo menos la mitad se encuentren ubicados en la Amazonía. Las siguientes 20 especies cumplieron los criterios y fueron utilizadas para el modelamiento.

N°	ESPECIES DE ÁRBOLES	NOMBRE COMÚN	N° REGISTROS	CATEGORÍA
1	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Mashonaste	373	NT
2	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Tornillo	339	-
3	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Marupa	312	-
4	<i>Abuta grandifolia</i> (Mart.) Sandwith	Abuta	293	NT
5	<i>Cedrela odorata</i> L.	Cedro	287	VU
6	<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A.Chev.	Quinilla	279	VU
7	<i>Hura crepitans</i> L.	Catahua	274	-
8	<i>Dipteryx micrantha</i> Harms	Shihuahuaco	224	-
9	<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) K. Schum.	Capirona	216	-
10	<i>Myroxylon balsamum</i> L. (Harms)	Estoraque	188	-
11	<i>Maytenus macrocarpa</i> (Ruiz & Pav.) Briq.	Chuchuhuasi	172	NT
12	<i>Ceiba insignis</i> (Kunth) P.E. Gibbs & Semir	Lupuna	168	NT
13	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.O. Grose	Tahuari	154	VU
14	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Ceibo	139	NT
15	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	Ishpingo	138	VU
16	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	Ana caspi	138	-
17	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	85	VU
18	<i>Croton palanostigma</i> Klotzsch	Sangre de drago	78	NT
19	<i>Handroanthus incanus</i> (A.H. Gentry) S.O. Grose	Tahuari	62	VU
20	<i>Parahancornia peruviana</i> Monach.	Naranja podrido	46	VU

NT: casi amenazada; VU: vulnerable

VARIABLES AMBIENTALES

Para el modelamiento se utilizaron 35 variables ambientales: 21 variables climáticas, 9 variables de suelo y 5 variables de terreno o fisiográficas. Las 19 variables bioclimáticas se obtuvieron de la base de datos WorldClim – Global Climate Data, las variables de evapotranspiración potencial anual e índice de aridez, fueron calculadas a través de los datos bioclimáticos, las variables de suelo se obtuvieron de SoilGrids – ISRIC World Soil Information, mientras que las variables de terreno corresponden a la variación de altitud; analizadas mediante el paquete *raster* en el programa R.

N°	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
1	BI01: Temperatura promedio anual	Climáticas
2	BI02: Rango medio diario (temp max – temp min; promedio mensual)	
3	BI03: Isotermalidad (BI01/BI07 * 100)	
4	BI04: Estacionalidad en temperatura (coeficiente de variación)	
5	BI05: Temperatura máxima del período más caliente	
6	BI06: Temperatura mínima del período más frío	
7	BI07: Rango anual de temperatura (BI05-BI06)	
8	BI08: Temperatura media en el trimestre más lluvioso	
9	BI09: Temperatura promedio en el trimestre más seco	
10	BI010: Temperatura promedio en el trimestre más caluroso	
11	BI011: Temperatura promedio en el trimestre más frío	
12	BI012: Precipitación anual	
13	BI013: Precipitación en el período más lluvioso	
14	BI014: Precipitación en el período más seco	
15	BI015: Estacionalidad de la precipitación (coeficiente de variación)	
16	BI016: Precipitación en el trimestre más lluvioso	
17	BI017: Precipitación en el trimestre más seco	
18	BI018: Precipitación en el trimestre más caluroso	
19	BI019: Precipitación en el trimestre más frío	
20	Evapotranspiración potencial anual	
21	Índice de aridez	

N°	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
22	Densidad aparente del suelo	Suelo
23	Contenido de grava	
24	Contenido de arcilla	
25	Contenido de limo	
26	Contenido de arena	
27	Capacidad de intercambio catiónico	
28	Contenido de carbono orgánico	
29	Contenido de nitrógeno	
30	pH del suelo	
31	Aspecto	
32	Dirección del flujo de agua	
33	Pendiente	
34	TPI: Índice de posición topográfica	
35	TRI: Índice de rugosidad del terreno	

METODOLOGÍA PARA EL MODELAMIENTO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El modelamiento del impacto del cambio climático en flora se realiza en cinco etapas, las cuales se describen a continuación. Asimismo, para mayor detalle se recomienda revisar el Anexo 1 o visitar la plataforma SERFOR Educa en el siguiente link <https://aulav.serfor.gob.pe/moodle/>

- 1. Etapa 01. Selección de variables ambientales para eliminar la colinealidad:** Las variables colineales pueden aumentar la incertidumbre en el resultado de los algoritmos empleados para el modelamiento de los nichos ecológicos. Por ello, se requiere seleccionar un subgrupo de variables no colineales para la modelación. El análisis de colinealidad se hizo tanto para las condiciones climáticas presentes, como futuras; las variables se seleccionaron con base a los factores de inflación de varianza (VIF), reteniendo-se solo aquellas con VIF menores a 5 (Braunisch et al., 2013).
- 2. Etapa 02. Filtración de los puntos de presencia para reducir el efecto del sesgo espacial:** Muchos reportes de presencia de la especie de interés en un solo nicho ecológico causan sesgo espacial, reduciendo el desempeño del modelamiento. Para evitarlo se consideró un solo punto de presencia por cada nicho ecológico definido, utilizando el llamado método de filtración ambiental (Varela et al., 2014), el cual brindó mejores resultados que el método de filtración geográfico basado en cuadrículas de tamaño definido.

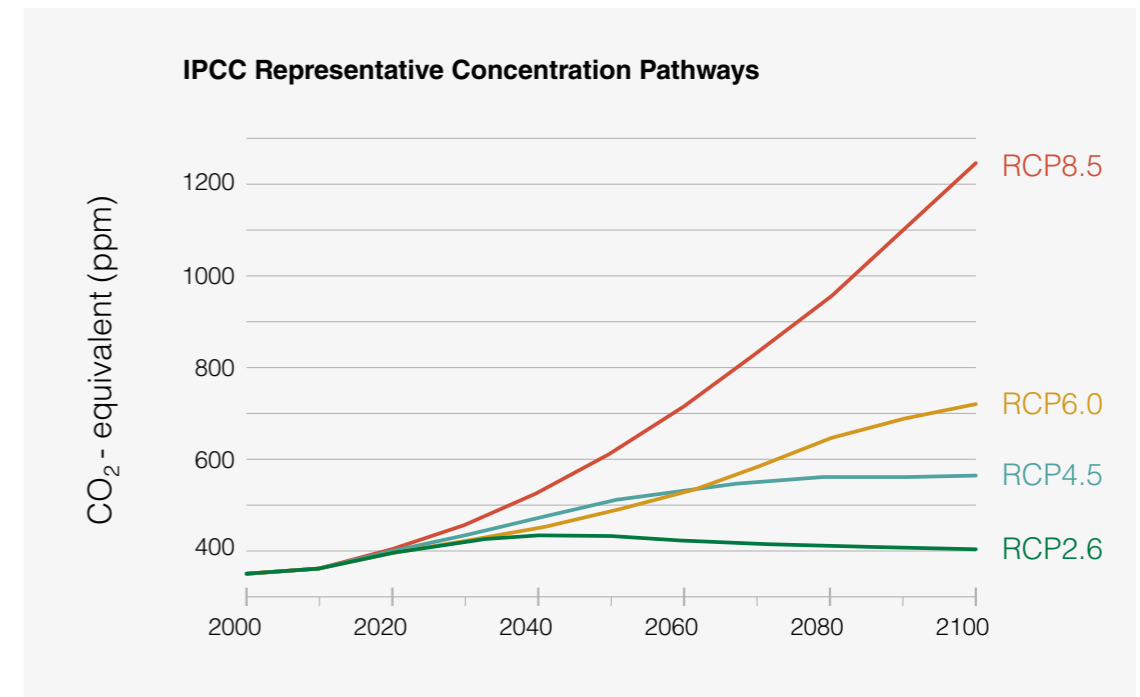
3. **Etapla 03. Selección de puntos de pseudo-ausencia:** La pseudo-ausencia representa a los nichos ecológicos con condiciones idóneas para el desarrollo de la especie, pero donde no se ha registrado su presencia. Los nichos con puntos de pseudo-ausencia se seleccionaron de acuerdo al método del target group descrito por Phillips et al. (2009) y Mateo et al. (2010); a partir de una área definida por un polígono de casco convexo, alrededor de todos los puntos de presencia, extendido con un buffer equivalente al 10 % del eje más grande del polígono (Acevedo et al., 2012).
4. **Etapla 04. Modelamiento de nichos ecológicos:** El modelamiento se realizó utilizando conjuntos compuestos de hasta 9 algoritmos, por medio del paquete BiodiversityR para R (Kindt, 2018). Los algoritmos considerados son: algoritmo de entropía máxima (MAXENT); random forest (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); splines de regresión adaptativa multivariante (EARTH).

Los algoritmos se validan de forma cruzada utilizando bloques espaciales con el paquete blockCV para R (Valavi et al., 2019). Los pesos ponderados de los algoritmos en cada uno de los modelos de conjunto se optimizan utilizando la función *ensemble.tune* del paquete BiodiversityR. Los algoritmos retenidos en el modelo de conjunto se calibraron nuevamente utilizando todos los puntos de presencia y pseudo-ausencia, y las predicciones finales del conjunto se realizaron utilizando los pesos previamente optimizados.

Cada modelo fue evaluado a través de las métricas AUC y cross validated-AUC (cv-AUC). El primero indica cuánto de la distribución obtenida corresponde a los puntos de presencias, mientras que el cv-AUC indica cuanto el modelo es capaz de predecir presencias en áreas donde no fue calibrado y, por lo tanto, indica cuan confiable es para las proyecciones futuras.

5. **Etapla 05. Proyecciones futuras por impacto del cambio climático:** Para las proyecciones futuras, se considera el horizonte temporal 2040-2069 y dos escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5. El RCP4.5 hace referencia a un escenario de estabilización, teniendo en cuenta la disminución de emisiones según lo establecido en el Acuerdo de París (Tribett et al., 2017); mientras que el RCP8.5 es el escenario más pesimista (ver figura abajo).

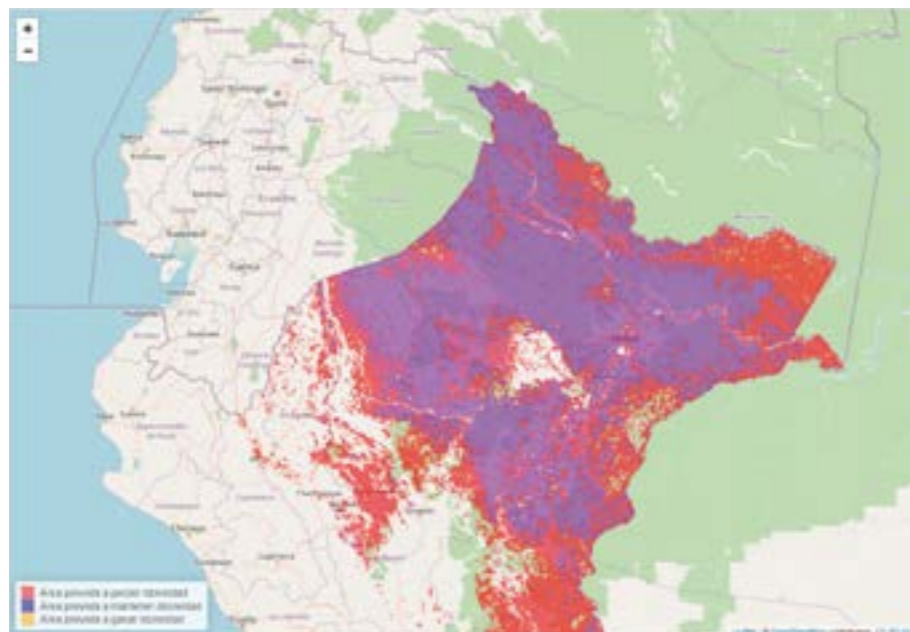
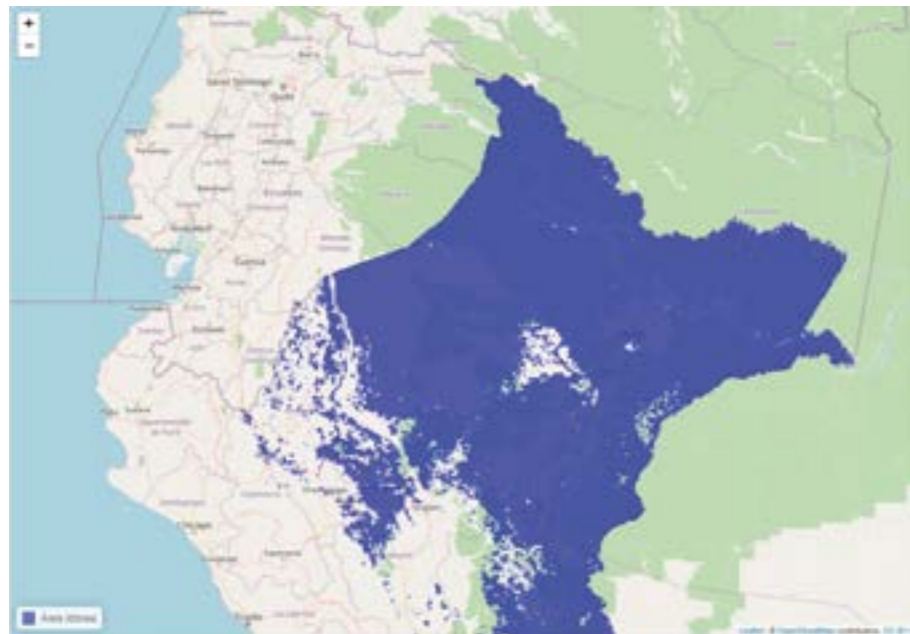
Los dos escenarios de emisión proyectan las condiciones climáticas futuras, caracterizadas con los denominados modelos de circulación general (GCM por sus siglas en inglés), los cuales son modelados empleando el mapa de distribución de cada especie o nicho ecológico (Etapla 04). Para fines de este estudio utilizamos cinco GCM de cambio climático obtenidos del Portal de Cambio de la CCAFS: CESM1 (CAM5), GFDL-CM3, HADGEM2-ES, MIROC5 y MPI-ESM-LR (Ramírez Villegas & Jarvis, 2010). De acuerdo a las coincidencias de los modelos de circulación general sobre la distribución se presentan 1 o 2 proyecciones futuras del área idónea. Es decir, para algunas especies existe coincidencia en 4 de los 5 modelos de circulación general, por ello se presenta una fila de mapas. En otras especies existe menor coincidencia entre los modelos circulación general y por ello se presentan 2 filas de mapas.



La figura muestra las diferencias en términos de emisiones de CO₂ para los dos escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5. Como se puede observar, en el horizonte temporal 2040-2069, el escenario RCP4.5 tiene menos emisiones que el escenario RCP8.5. Por lo tanto, las variaciones de temperatura y precipitación serán menos drásticas.

VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA HERRAMIENTA EN LINEA

Los resultados de la modelación están presentados en las secciones siguientes del documento, incluyendo las fichas técnicas para cada especie y una síntesis del impacto climático sobre las 20 especies modeladas. Los mapas de las distribuciones presentes y proyecciones futuras también están disponibles en la herramienta en línea para facilitar su utilización: https://biodiversityinternational.shinyapps.io/cambio_climático_SERFOR/. La cual permite seleccionar las especies y el periodo temporal (presente, proyecciones futuras para el 2050 – RCP4.5 y proyecciones futuras para el 2050 – RCP8.5).



2

FICHAS TÉCNICAS DE LAS 20 ESPECIES

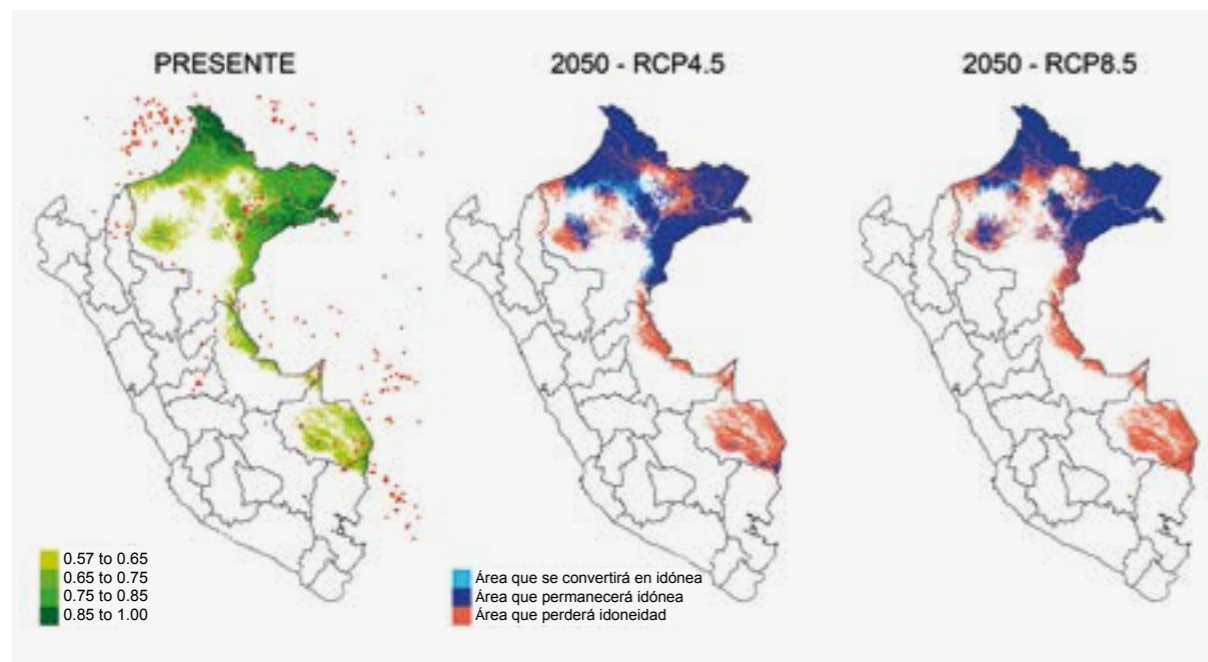


Abuta grandifolia

(Abuta)

En el primer mapa se presenta la distribución actual de *Abuta grandifolia*, señalándose de color verde oscuro el área más idónea, es decir, con condiciones que favorecen el desarrollo de la especie y en verde claro el área menos idónea.

En los dos siguientes mapas presentamos las proyecciones de la especie para el año 2050. En color rojo se distingue el área que potencialmente perderá idoneidad, equivalente al 39 % del área idónea del presente en el escenario de emisión RCP4.5 y 42 % en RCP8.5. En consecuencia, en el escenario de emisión moderado (RCP4.5), el 61 % del área conservará la idoneidad (color azul) y el 4 % se convertirá en idónea (color celeste). Mientras que en el escenario extremo (RCP8.5), sólo el 58 % del área conservará idoneidad y el 1% se convertirá en idónea.



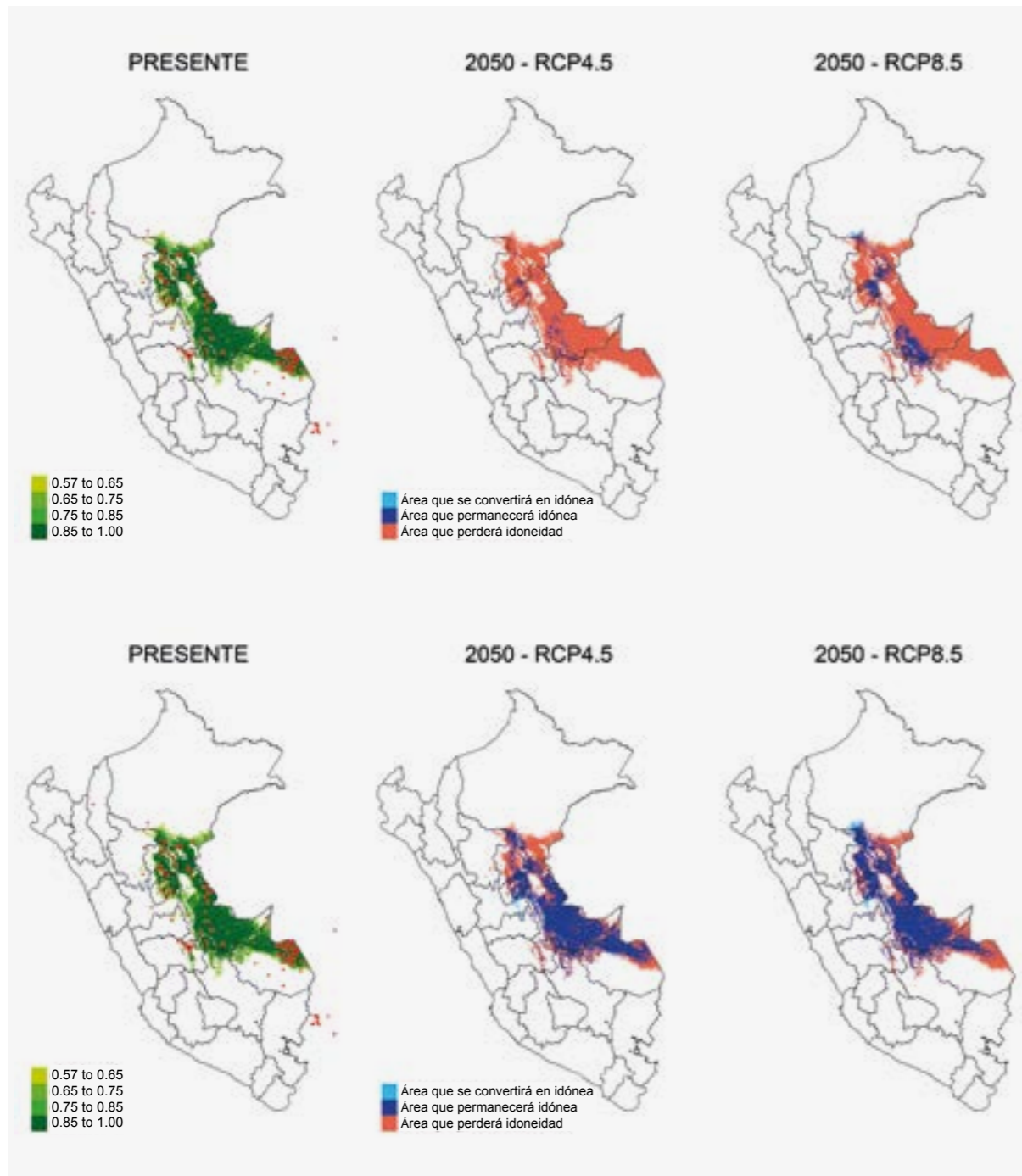
MODELO	
N° puntos	342
AUC	0.92
cv-AUC	0.79
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV, EARTH, FDA, SVM
Tres variables más importantes	BIO19: Precipitación en el trimestre más frío, evapotranspiración potencial anual, contenido de nitrógeno

	PRESENTE	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
		RCP4.5	RCP8.5
Total área idónea	278305 km ²		
Rango altitudinal	62-622 m		
Rango de temperatura	23.7-27.2 °C		
Rango de precipitación	1667-4085 mm		
		Área estable	61 %
		Área de expansión	+4 %
		Área de contracción	-39 %
		Cambio neto	-35 %
			58 %
			+1 %
			-42 %
			-41 %



Amburana cearensis

(Ishpingo)



Para *Amburana cearensis* se presentan 2 filas de mapas relacionadas con las proyecciones futuras del cambio en el área idónea.

La fila superior muestra que usando 4 de los 5 modelos de circulación general, se perdería (color rojo) el 95 % del área idónea del presente usando el escenario de emisión RCP4.5 y 83 % en el caso de RCP8.5. Asimismo, se conservaría mayor área idónea (color azul) en el escenario RCP8.5 y el área de expansión (color celeste) sería similar en ambos escenarios.

La fila inferior muestra el área idónea actual y los cambios de idoneidad que ocurrirían usando 3 de los 5 modelos de circulación general. Sin embargo, estas proyecciones de escenario futuro reportan menor coincidencia entre los modelos utilizados.

MODELO	
N° puntos	285
AUC	0.99
cv-AUC	0.88
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest,, GLMSTEP, MGCV, EARTH, SVM
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, BIO15: Estacionalidad de la precipitación, BIO13: Precipitación en el período más lluvioso

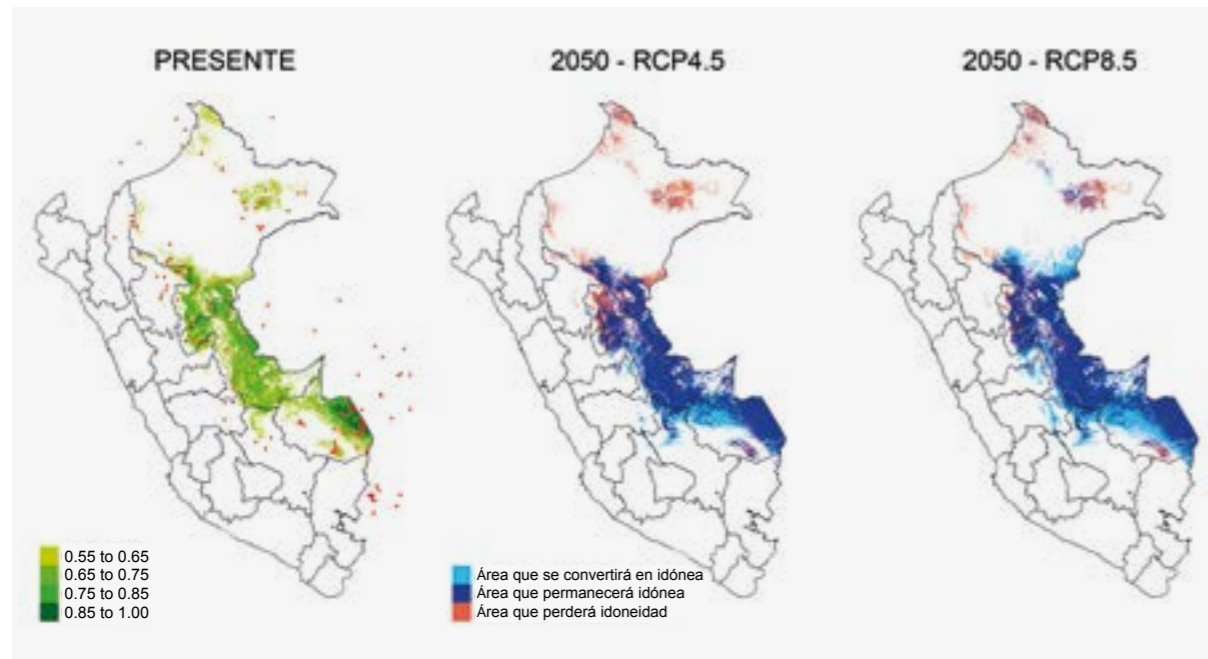
Se presentan los cambios de área para la primera fila de mapas:

	PRESENTE	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
		RCP4.5	RCP8.5
Total área idónea	170118 km ²	Área estable 5 %	17 %
Rango altitudinal	110-1370 m	Área de expansión +1 %	+1 %
Rango de temperatura	21.8-27 °C	Área de contracción -95 %	-83 %
Rango de precipitación	1003-4964 mm	Cambio neto -94 %	-82 %



Apuleia leiocarpa

(Ana caspi)



MODELO	
N° puntos	162
AUC	0.95
cv-AUC	0.73
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, MGCV, SVM
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, capacidad de intercambio catiónico, evapotranspiración potencial anual

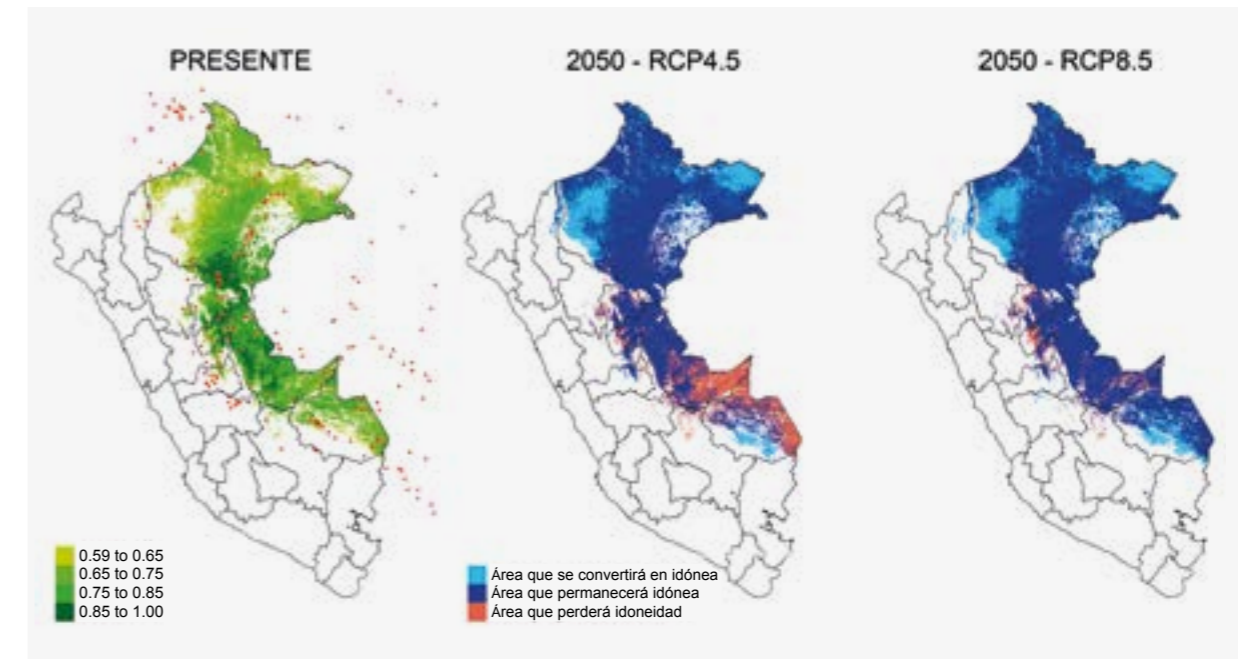
PRESENTE	
Total área idónea	185122 km ²
Rango altitudinal	82-1231 m
Rango de temperatura	21.4-27 °C
Rango de precipitación	967-5011 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	79 %	87 %
Área de expansión	+18 %	+39 %
Área de contracción	-21 %	-13 %
Cambio neto	-3 %	+26 %



Calycophyllum spruceanum

(Capirona)



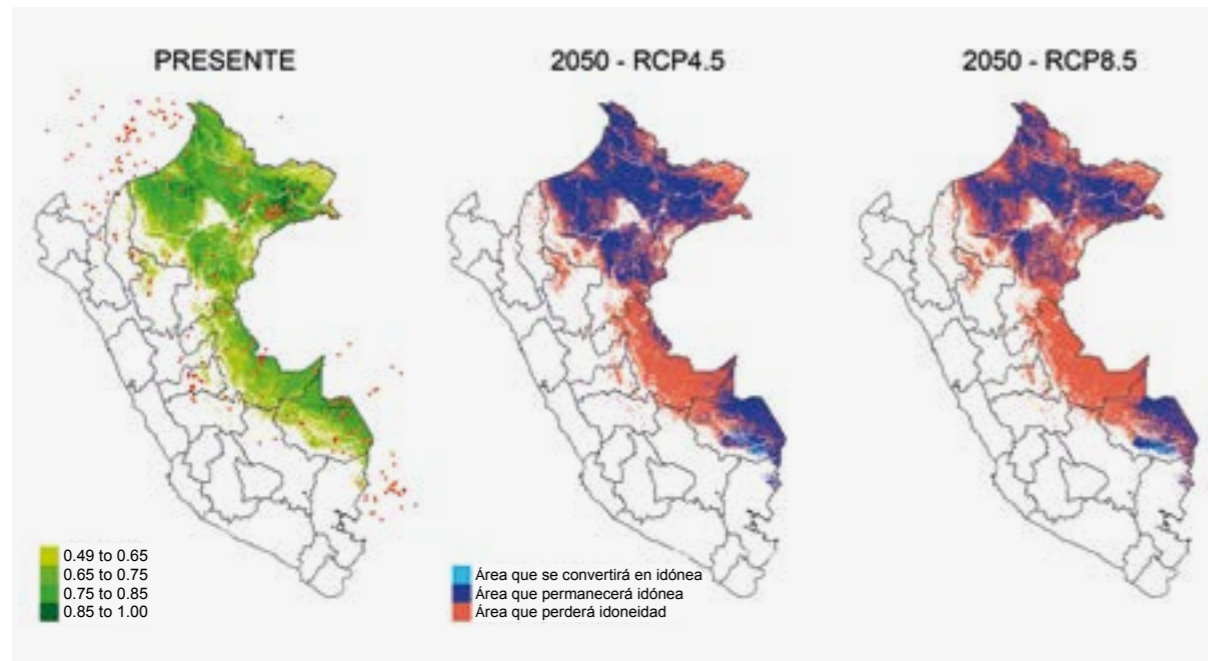
MODELO	
N° puntos	242
AUC	0.91
cv-AUC	0.80
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV, FDA
Tres variables más importantes	Evapotranspiración potencial anual, capacidad de intercambio catiónico, contenido de grava

PRESENTE	
Total área idónea	415757 km ²
Rango altitudinal	62-1340 m
Rango de temperatura	21.8-27.2 °C
Rango de precipitación	1098-4970 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	85 %	97 %
Área de expansión	+21 %	+26 %
Área de contracción	-15 %	-3 %
Cambio neto	+6 %	+23 %



Cedrela odorata
(Cedro)



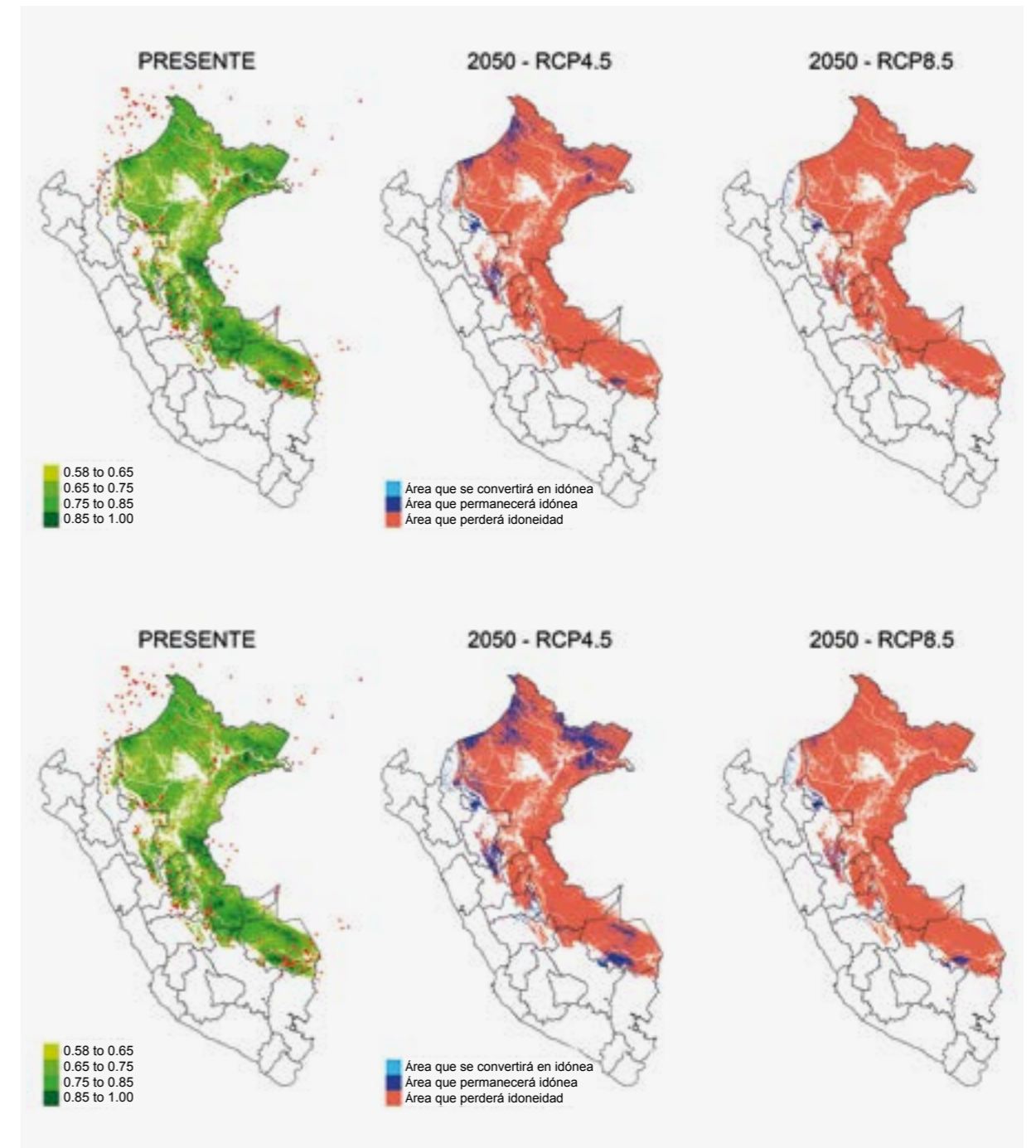
MODELO	
N° puntos	303
AUC	0.81
cv-AUC	0.68
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, GLMSTEP, MGCV, SVM
Tres variables más importantes	BIO18: Precipitación en el trimestre más caluroso, contenido de grava, BIO19: Precipitación en el trimestre más frío

PRESENTE	
Total área idónea	472020 km ²
Rango altitudinal	0-2499 m
Rango de temperatura	14.6-27.2 °C
Rango de precipitación	3-4621 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	53 %	40 %
Área de expansión	0 %	0 %
Área de contracción	-47 %	-60 %
Cambio neto	-47 %	-60 %



Cedrelinga cateniformis
(Tornillo)



MODELO	
Nº puntos	377
AUC	0.93
cv-AUC	0.77
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, FDA, SVM
Tres variables más importantes	BIO19: Precipitación en el trimestre más frío, capacidad de intercambio catiónico, BIO15: Estacionalidad de la precipitación

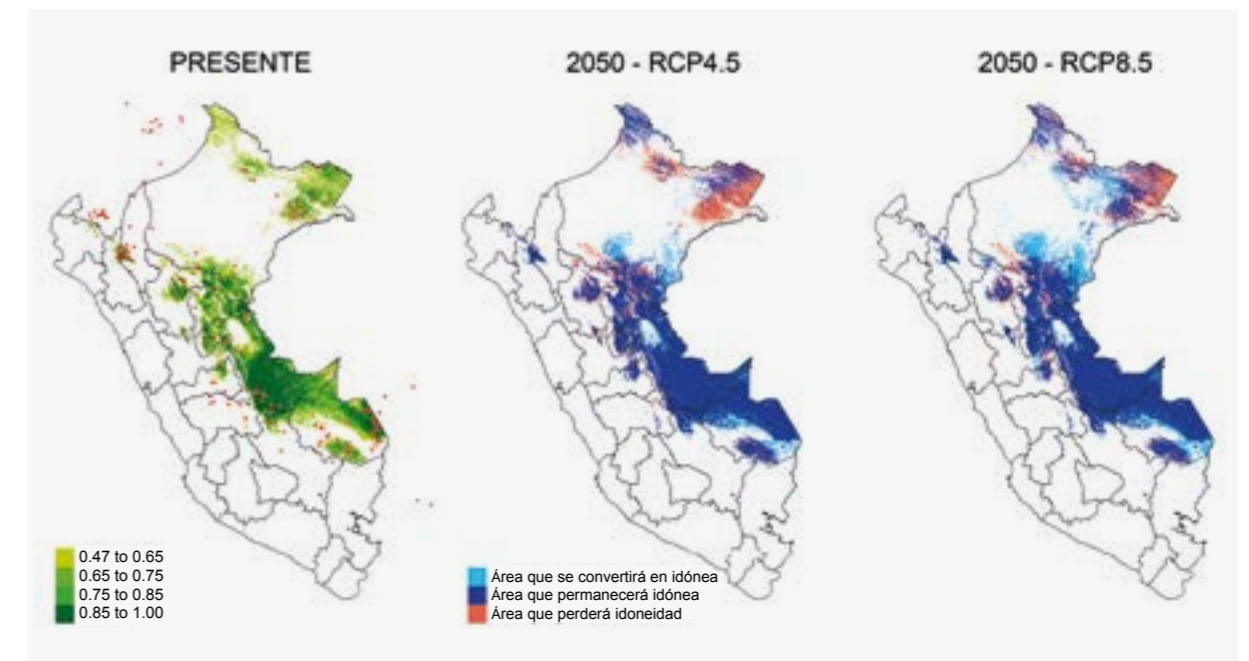
PRESENTE	
Total área idónea	519513 km ²
Rango altitudinal	70-1420 m
Rango de temperatura	21.5-27.2 °C
Rango de precipitación	1178-5215 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
	6 %	1 %
	0 %	0 %
	-94 %	-99 %
	-94 %	-99 %



Ceiba insignis

(Lupuna)



MODELO	
Nº puntos	191
AUC	0.98
cv-AUC	0.72
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, EARTH, FDA
Tres variables más importantes	TRI: Índice de rugosidad del terreno, evapotranspiración potencial anual, contenido de arena

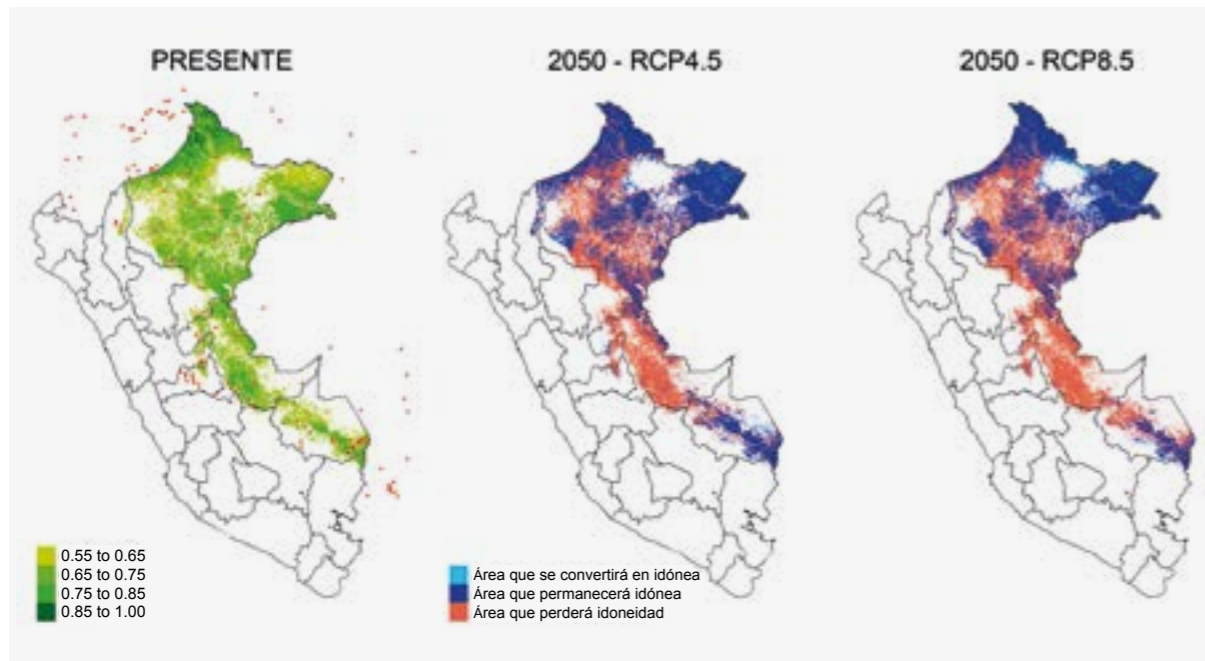
PRESENTE	
Total área idónea	279603 km ²
Rango altitudinal	66-2390 m
Rango de temperatura	15.3-27.1 °C
Rango de precipitación	1489-4231 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	83 %	88 %
Área de expansión	+13 %	+23 %
Área de contracción	-17 %	-12 %
Cambio neto	-4 %	+11 %



Ceiba pentandra

(Ceibo)



MODELO	
N° puntos	148
AUC	0.94
cv-AUC	0.80
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV, FDA
Tres variables más importantes	BIO13: Precipitación en el período más lluvioso, contenido de arcilla, BIO14: Precipitación en el período más seco

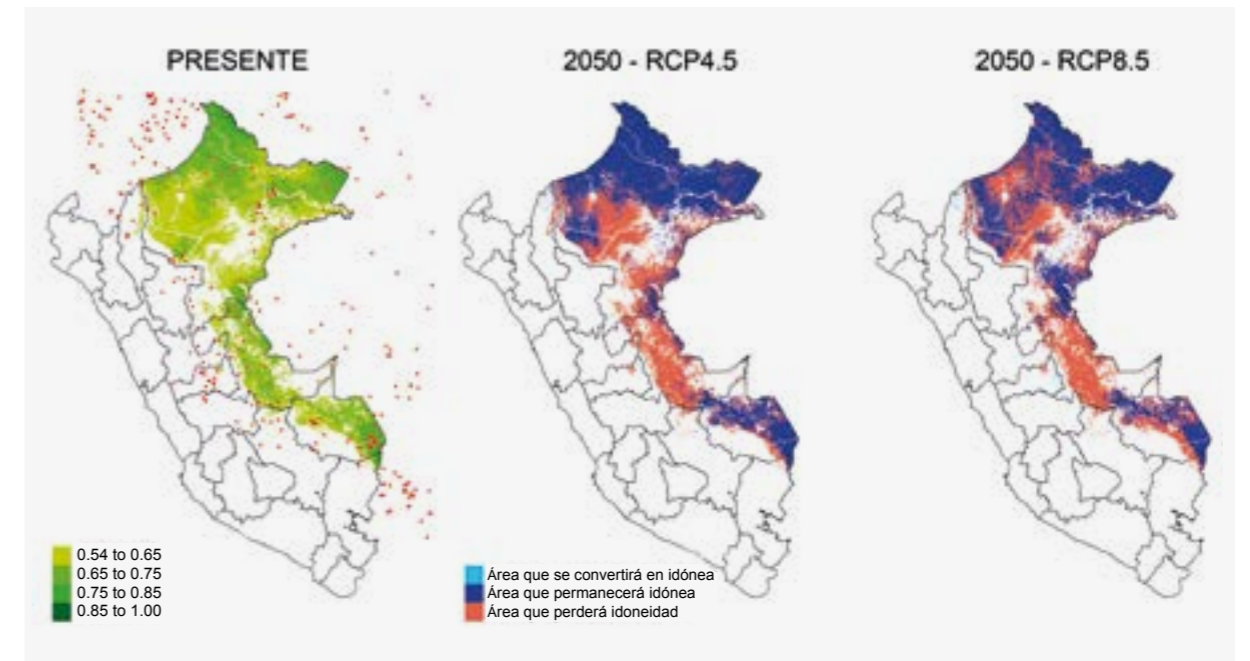
PRESENTE	
Total área idónea	375783 km ²
Rango altitudinal	62-821 m
Rango de temperatura	32.4-27.2 °C
Rango de precipitación	1489-4231 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	58 %	52 %
Área de expansión	+1 %	+2 %
Área de contracción	-42 %	-48 %
Cambio neto	-41 %	-46 %



Clarisia racemosa

(Mashonaste)



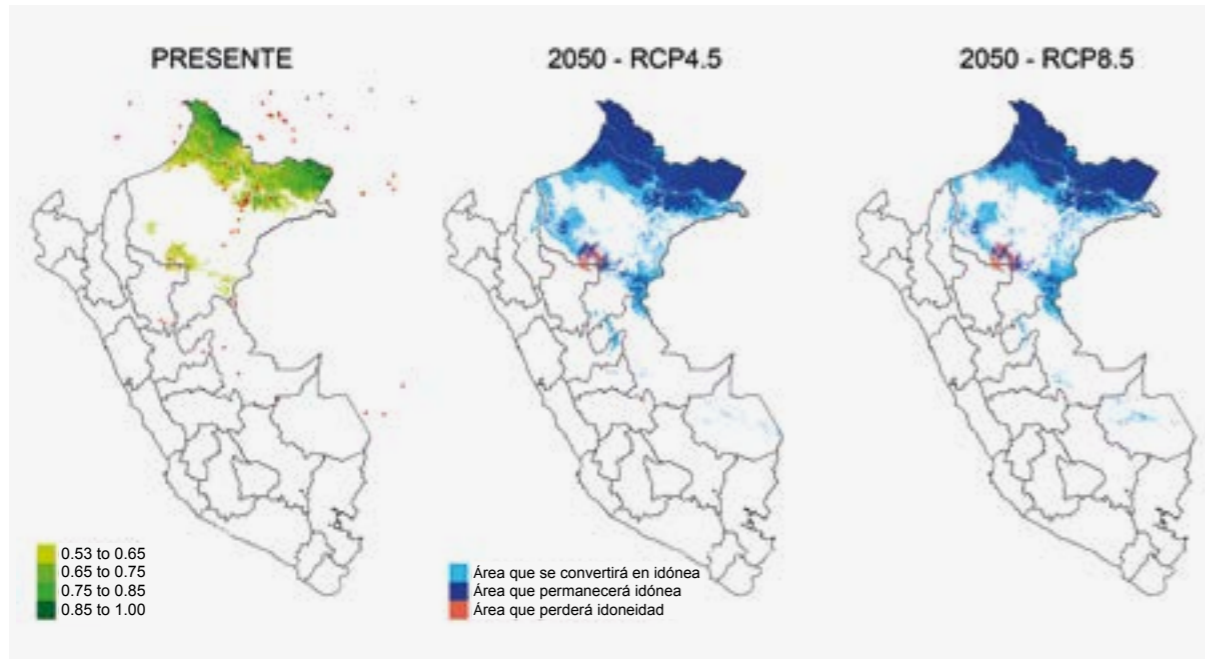
MODELO	
N° puntos	340
AUC	0.88
cv-AUC	0.73
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, MGCV, EARTH, FDA, SVM
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, BIO13: Precipitación en el período más lluvioso, BIO19: Precipitación en el trimestre más frío

PRESENTE	
Total área idónea	403995 km ²
Rango altitudinal	64-1476 m
Rango de temperatura	20-27.1 °C
Rango de precipitación	1319-3434 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	59 %	56 %
Área de expansión	+1 %	+1 %
Área de contracción	-41 %	-44 %
Cambio neto	-40 %	-43 %



Croton palanostigma
(Sangre de grado)



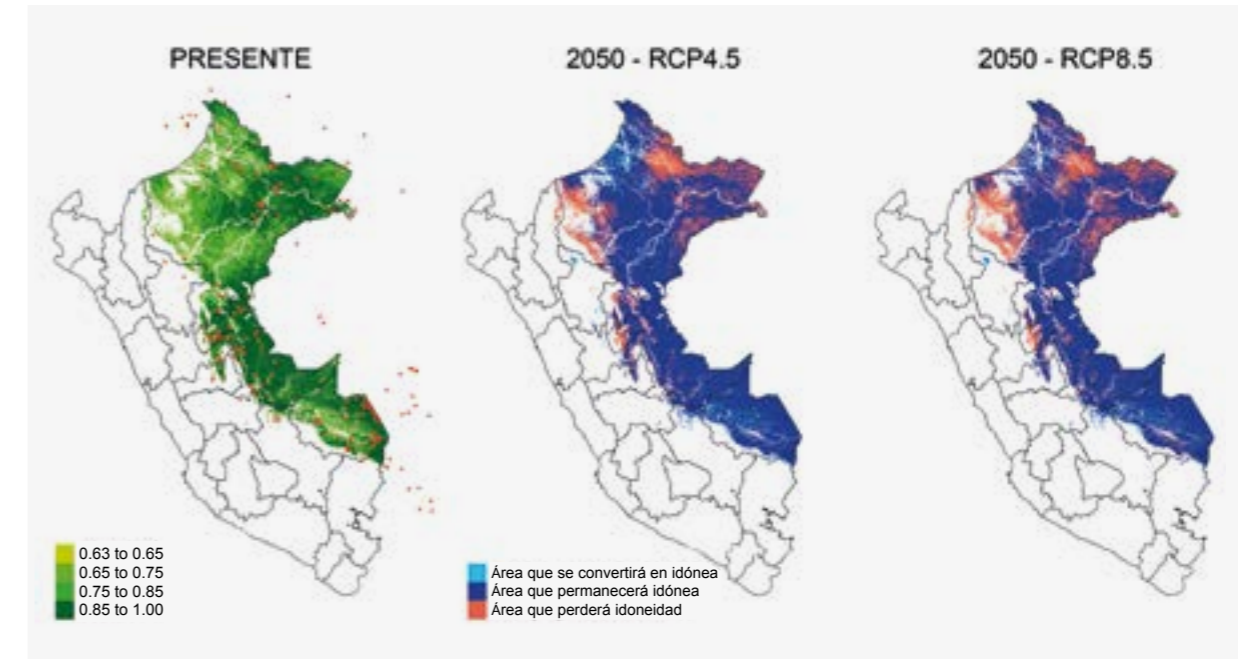
MODELO	
N° puntos	84
AUC	0.94
cv-AUC	0.77
Algoritmos incluidos	Maxent, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV, FDA
Tres variables más importantes	BIO13: Precipitación en el período más lluvioso, pendiente, BIO15: Estacionalidad de la precipitación

PRESENTE	
Total área idónea	127976 km ²
Rango altitudinal	64-840 m
Rango de temperatura	23.1-27.2 °C
Rango de precipitación	1587-3434 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	97 %	97 %
Área de expansión	+85 %	+80 %
Área de contracción	-3 %	-3 %
Cambio neto	+82 %	+77 %



Dipteryx micrantha
(Shihuahuaco)



MODELO	
N° puntos	216
AUC	0.97
cv-AUC	0.89
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV, FDA, SVM
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, TRI: Índice de rugosidad del terreno, BIO13: Precipitación en el período más lluvioso

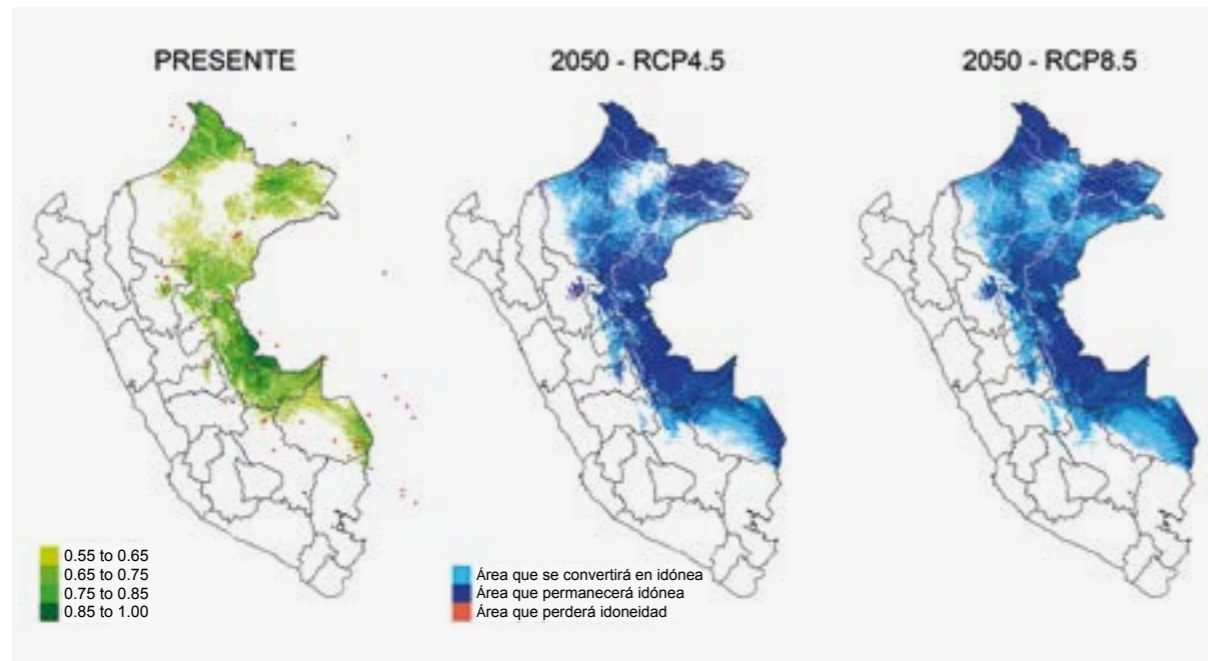
PRESENTE	
Total área idónea	476149 km ²
Rango altitudinal	64-833 m
Rango de temperatura	23-27.2 °C
Rango de precipitación	976-4984 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	84 %	82 %
Área de expansión	+3 %	+2 %
Área de contracción	-16 %	-18 %
Cambio neto	-13 %	-15 %



Handroanthus incanus

(Tahuari)



MODELO	
N° puntos	67
AUC	0.97
cv-AUC	0.73
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV
Tres variables más importantes	TRI: Índice de rugosidad del terreno, BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, BIO18: Precipitación en el trimestre más caluroso

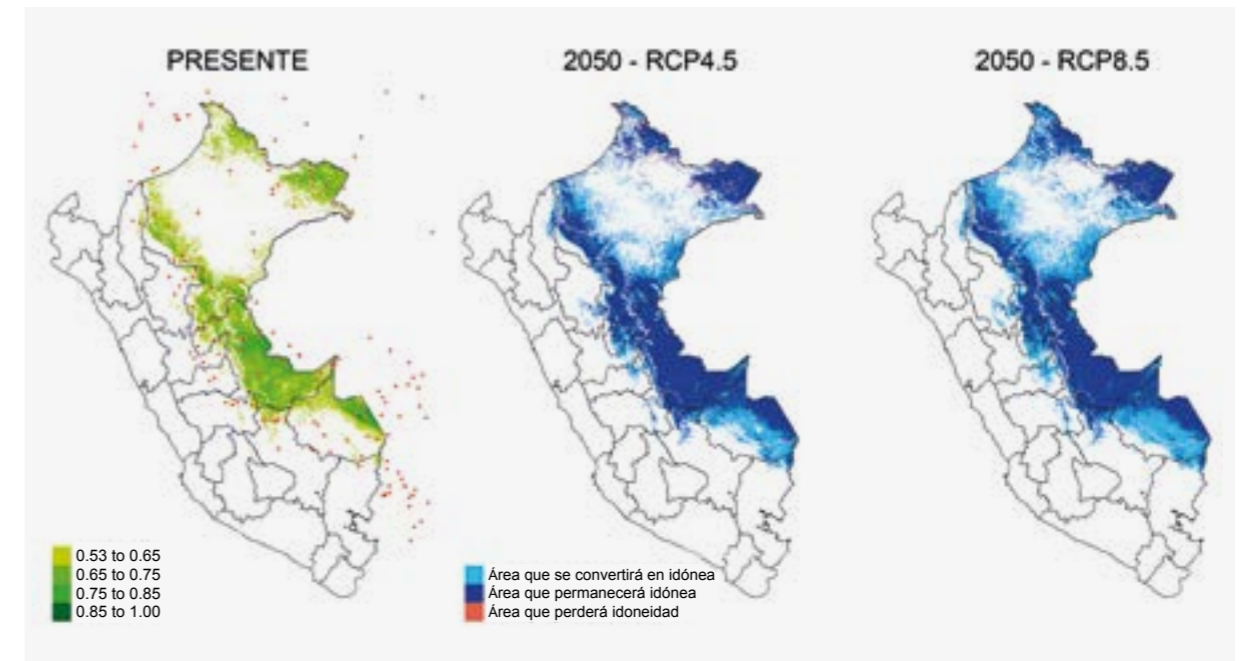
PRESENTE	
Total área idónea	295382 km ²
Rango altitudinal	64-655 m
Rango de temperatura	24.2-27.2 °C
Rango de precipitación	687-3595 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	100 %	100 %
Área de expansión	+58 %	+80 %
Área de contracción	0 %	0 %
Cambio neto	+57 %	+80 %



Handroanthus serratifolius

(Tahuari)

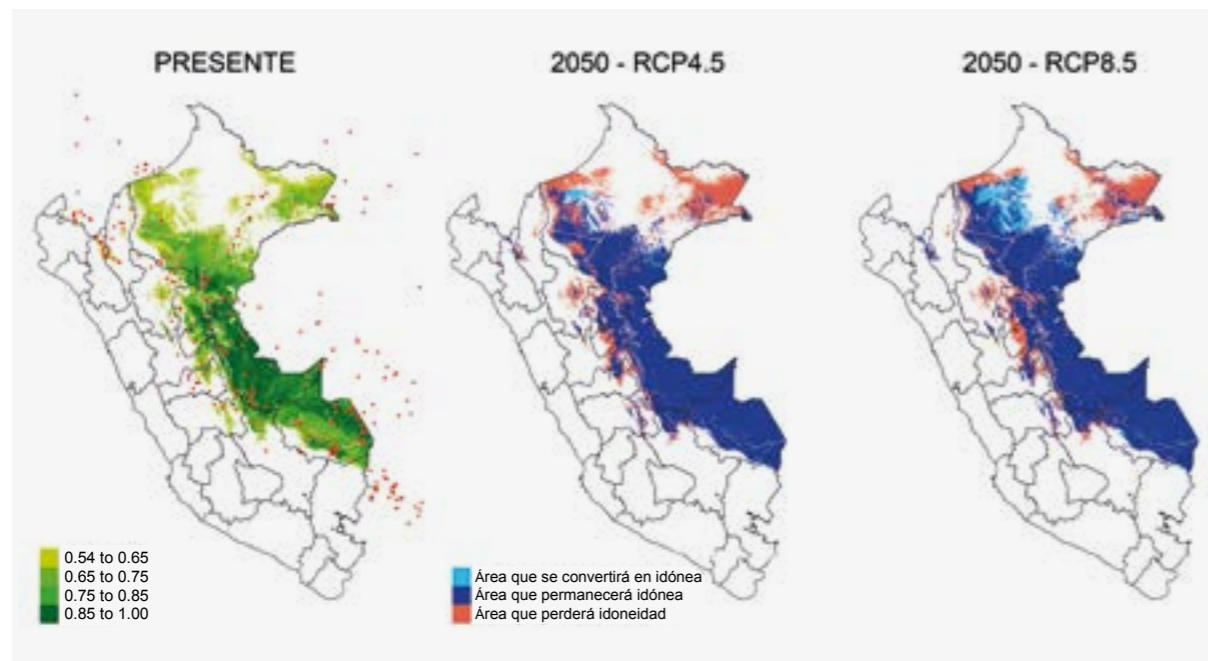


MODELO	
N° puntos	156
AUC	0.96
cv-AUC	0.75
Algoritmos incluidos	GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, BIO19: Precipitación en el trimestre más frío, contenido de arena

PRESENTE	
Total área idónea	256009 km ²
Rango altitudinal	64-1248 m
Rango de temperatura	21-27.2 °C
Rango de precipitación	1029-4968 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	99 %	100 %
Área de expansión	+52 %	+77 %
Área de contracción	-1 %	0 %
Cambio neto	+51 %	+77 %

Hura crepitans
(Catahua)

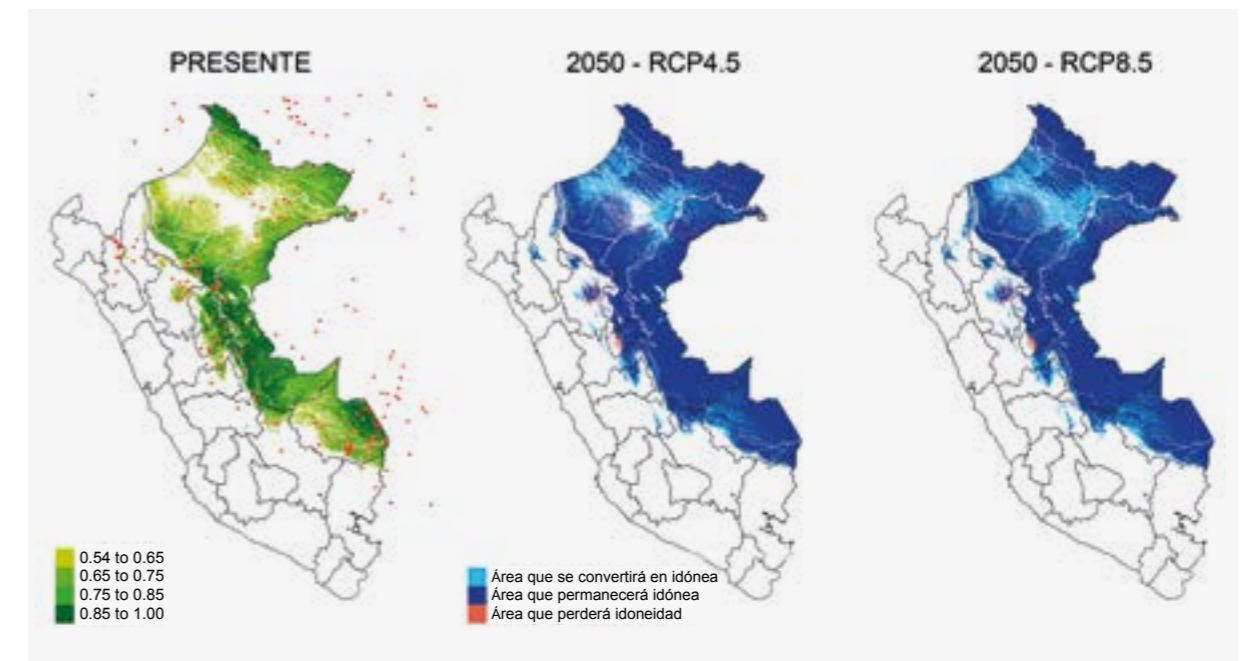


MODELO	
N° puntos	317
AUC	0.92
cv-AUC	0.76
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GAMSTEP, FDA, SVM
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, contenido de nitrógeno, BIO13: Precipitación en el período más lluvioso

PRESENTE	
Total área idónea	393233 km ²
Rango altitudinal	62-1697 m
Rango de temperatura	19.5-27.2 °C
Rango de precipitación	661-4836 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	76 %	81 %
Área de expansión	+2 %	+7 %
Área de contracción	-24 %	-19 %
Cambio neto	-22 %	-12 %

Manilkara bidentata
(Quinilla)



MODELO	
N° puntos	275
AUC	0.93
cv-AUC	0.80
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, MGCV, FDA, SVM
Tres variables más importantes	BIO19: Precipitación en el trimestre más frío, BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, contenido de arena

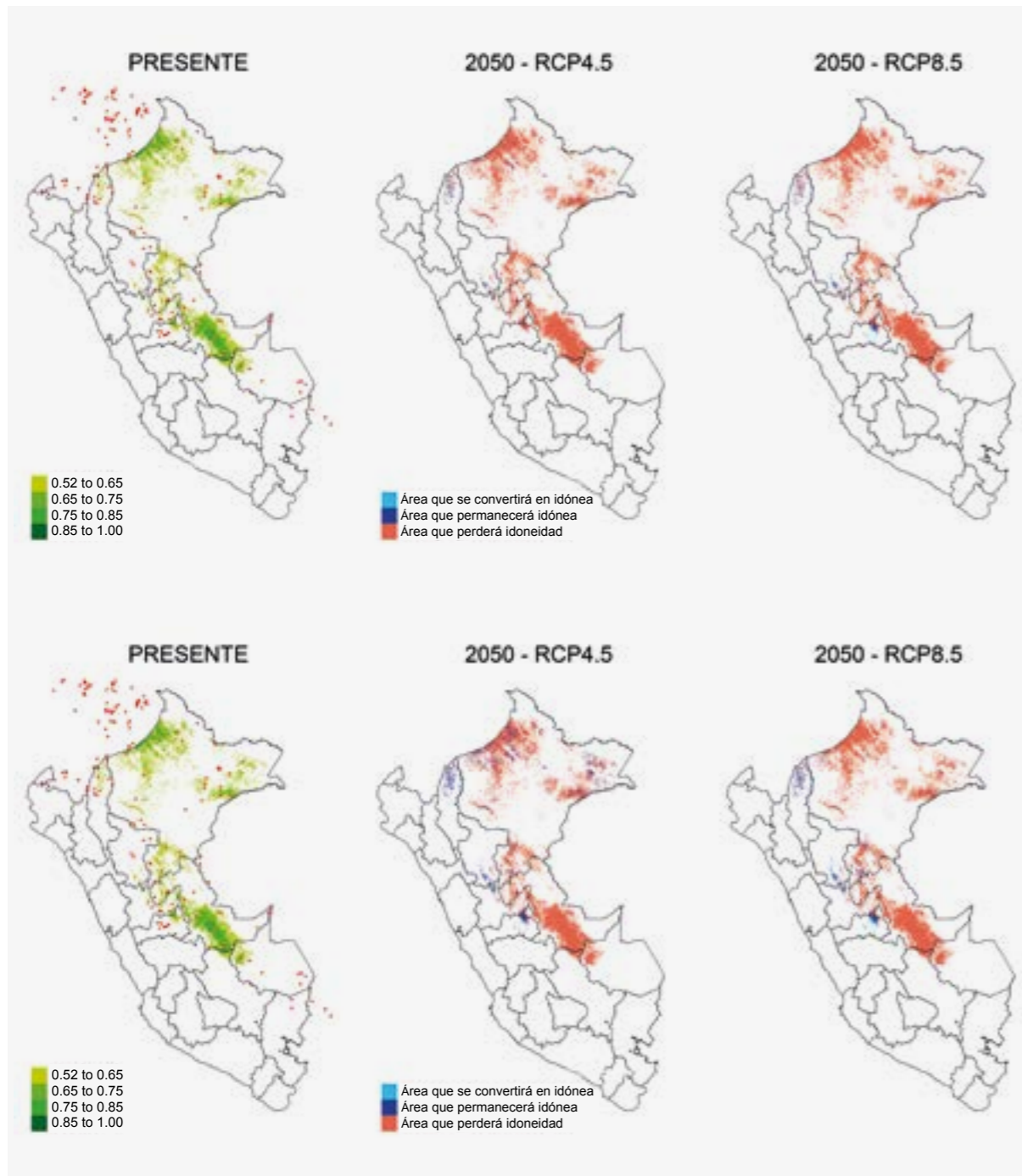
PRESENTE	
Total área idónea	446627 km ²
Rango altitudinal	64-1076 m
Rango de temperatura	22-27.2 °C
Rango de precipitación	690-4968 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	99 %	100 %
Área de expansión	+21 %	+26 %
Área de contracción	-1 %	-0 %
Cambio neto	+20 %	+26 %



Maytenus macrocarpa

(Chuchuhuasi)



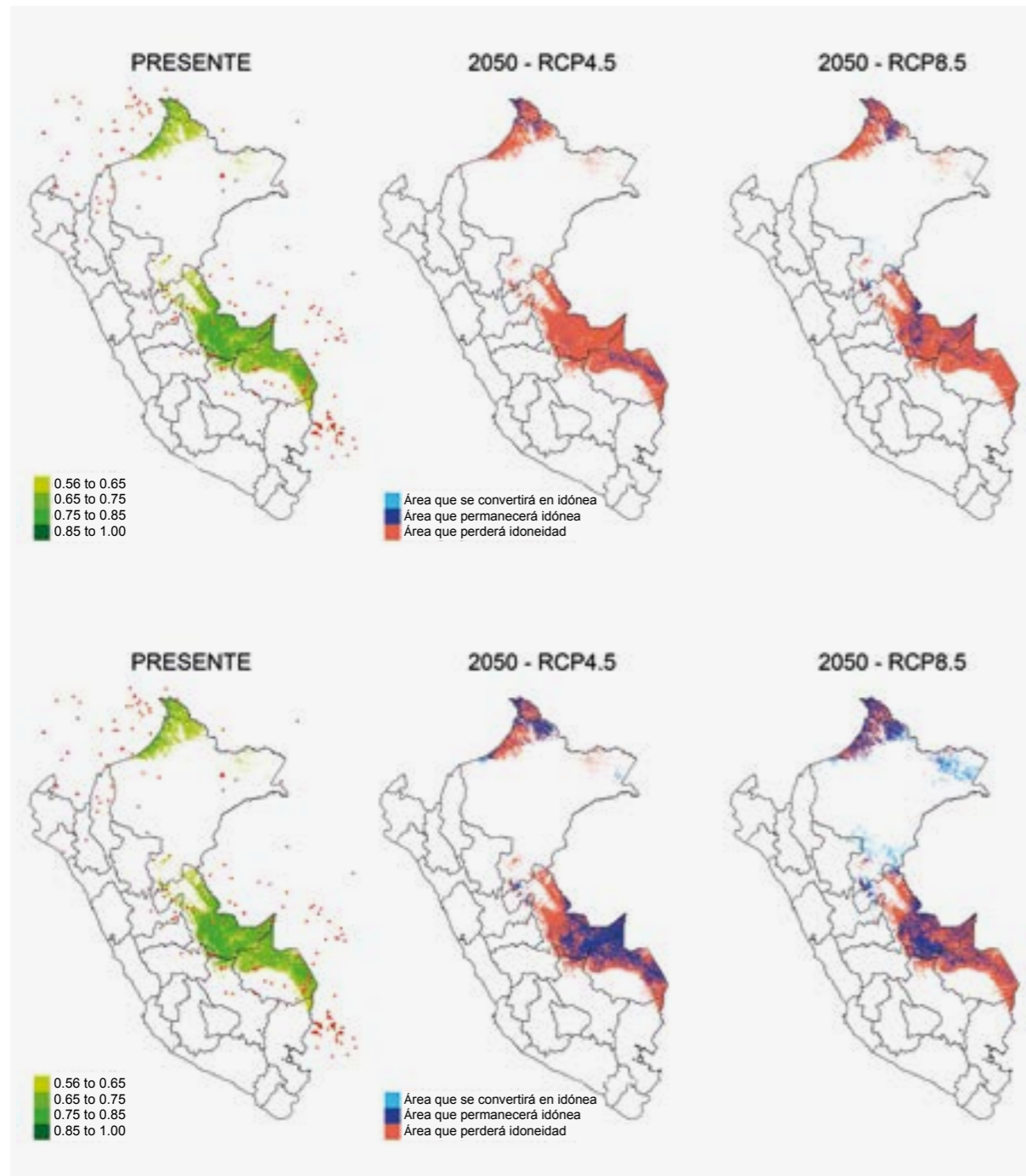
MODELO	
Nº puntos	177
AUC	0.96
cv-AUC	0.70
Algoritmos incluidos	GBM, Random Forest, SVM
Tres variables más importantes	BIO19: Precipitación en el trimestre más frío, BIO14: Precipitación en el período más seco, BIO13: Precipitación en el período más lluvioso

PRESENTE	
Total área idónea	125933 km ²
Rango altitudinal	77-2312 m
Rango de temperatura	16.4-27.2 °C
Rango de precipitación	1098-4967 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	4 %	3 %
Área de expansión	+1 %	+1 %
Área de contracción	-96 %	-97 %
Cambio neto	-95 %	-96 %



Myroxylon balsamum (Estoraque)



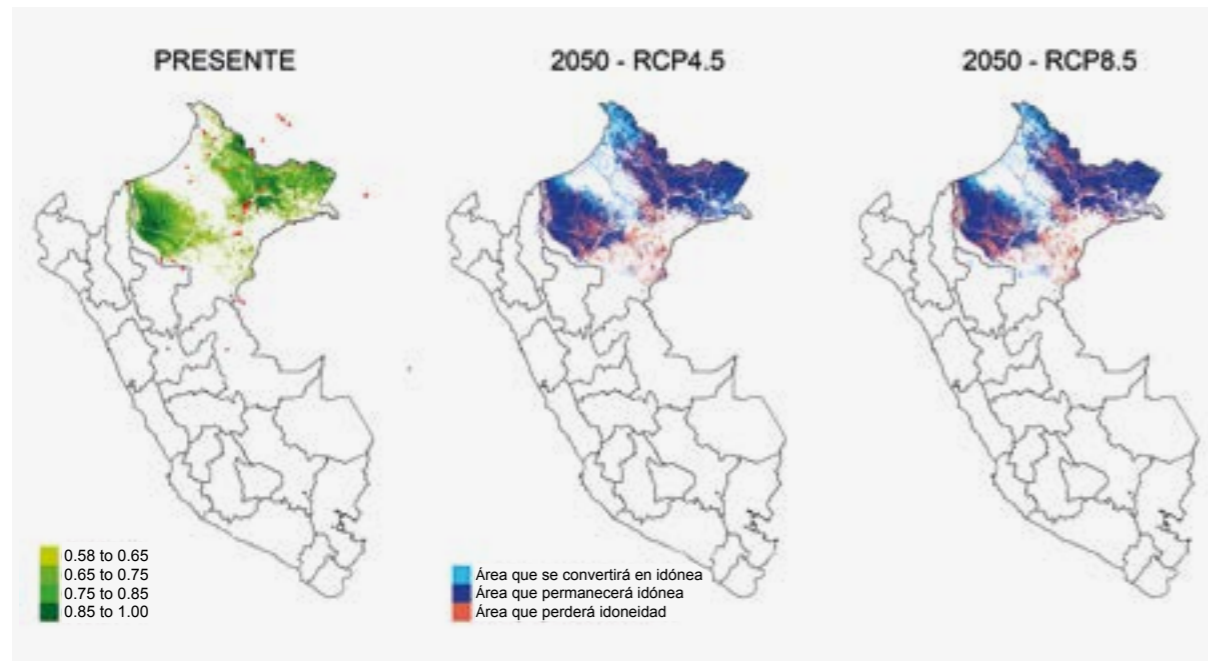
MODELO	
Nº puntos	225
AUC	0.93
cv-AUC	0.73
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, MGCV
Tres variables más importantes	BIO15: Estacionalidad de la precipitación, BIO13: Precipitación en el período más lluvioso, BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso

PRESENTE	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO		
	RCP4.5	RCP8.5	
Total área idónea	167283 km ²		
Rango altitudinal	80-1631 m		
Rango de temperatura	19.3-26.9 °C		
Rango de precipitación	1253-4141 mm		
	Área estable	8 %	15 %
	Área de expansión	0 %	+2 %
	Área de contracción	-92 %	-85 %
	Cambio neto	-92 %	-83 %



Parahancornia peruviana

(Naranja podrido)



MODELO	
N° puntos	66
AUC	0.96
cv-AUC	0.78
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, SVM
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, BIO14: Precipitación en el período más seco, pendiente

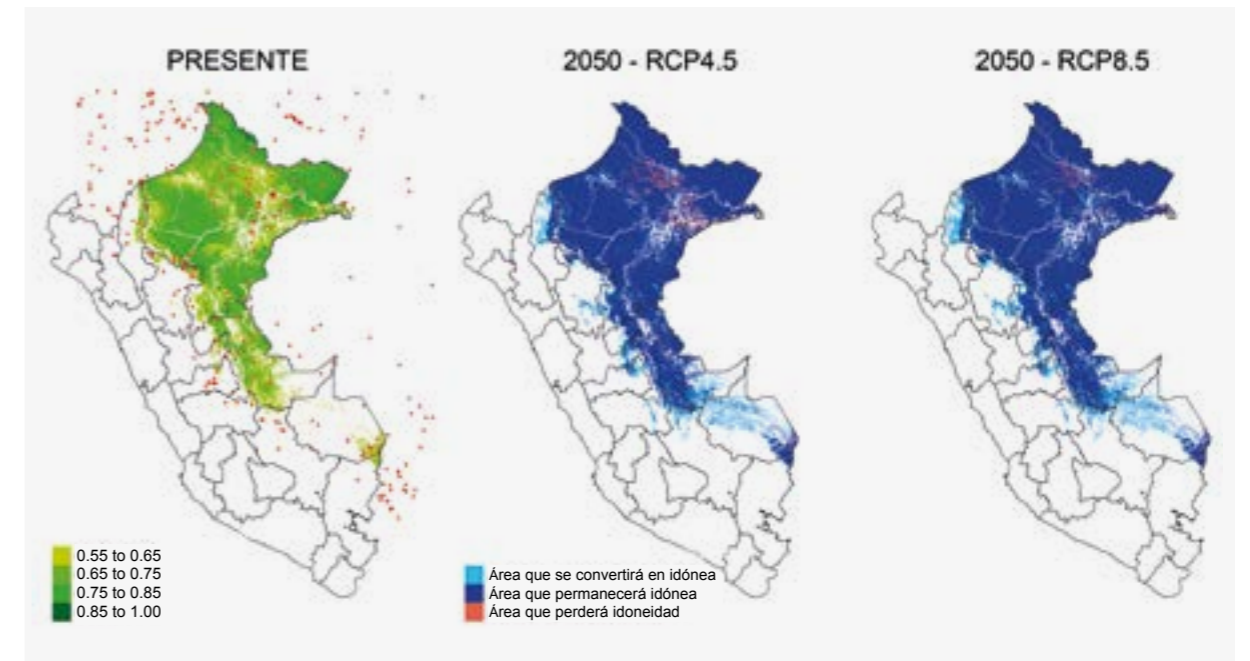
PRESENTE	
Total área idónea	172040 km ²
Rango altitudinal	64-652 m
Rango de temperatura	24.4-27.2 °C
Rango de precipitación	1690-3434 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	81 %	79 %
Área de expansión	+18 %	+16 %
Área de contracción	-19 %	-21 %
Cambio neto	-1 %	-5 %



Simarouba amara

(Marupa)



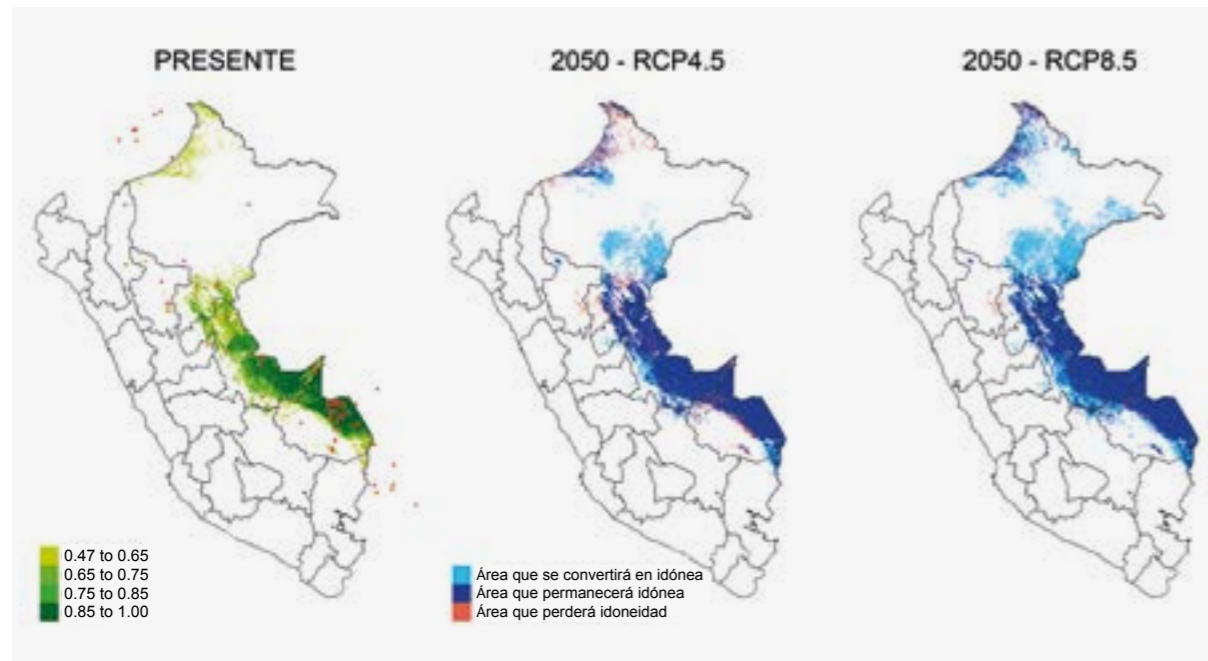
MODELO	
N° puntos	317
AUC	0.89
cv-AUC	0.69
Algoritmos incluidos	Maxent, GMB, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, MGCV
Tres variables más importantes	BIO19: Precipitación en el trimestre más frío, contenido de arena, BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso

PRESENTE	
Total área idónea	416438 km ²
Rango altitudinal	64-1601 m
Rango de temperatura	19.7-27.2 °C
Rango de precipitación	1222-3995 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	98 %	99 %
Área de expansión	+14 %	+16 %
Área de contracción	-2 %	-1 %
Cambio neto	+12 %	+15 %



Swietenia macrophylla (Caoba)



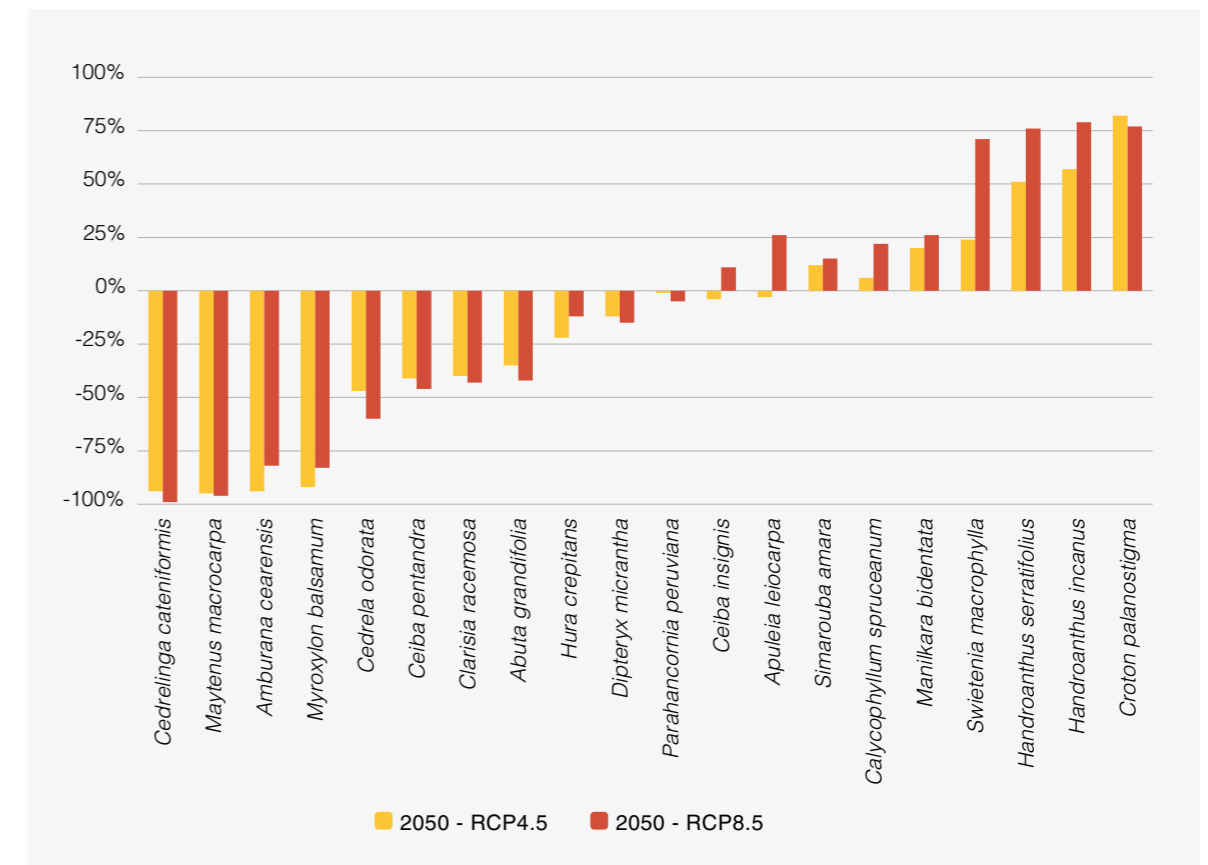
MODELO	
N° puntos	95
AUC	0.98
cv-AUC	0.85
Algoritmos incluidos	Maxent, GBM, Random Forest, GLMSTEP, GAMSTEP, FDA, SVM
Tres variables más importantes	BIO8: Temperatura media en el trimestre más lluvioso, BIO19: Precipitación en el trimestre más frío, BIO14: Precipitación en el período más seco

PRESENTE	
Total área idónea	152627 km ²
Rango altitudinal	102-1387 m
Rango de temperatura	20.5-27.1 °C
Rango de precipitación	55-3992 mm

	FUTURO – CAMBIO CLIMÁTICO	
	RCP4.5	RCP8.5
Área estable	91 %	98 %
Área de expansión	+32 %	+73 %
Área de contracción	-9 %	-2 %
Cambio neto	+23 %	+71 %

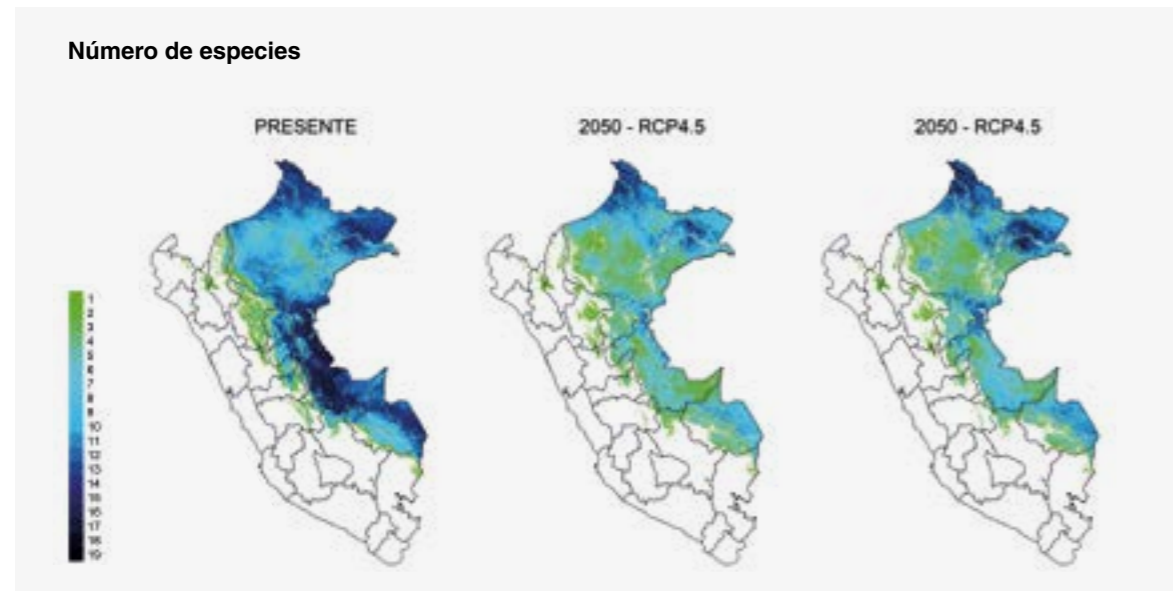
3 SÍNTESIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS 20 ESPECIES

CAMBIO NETO DE ÁREA IDÓNEA EN LAS 20 ESPECIES



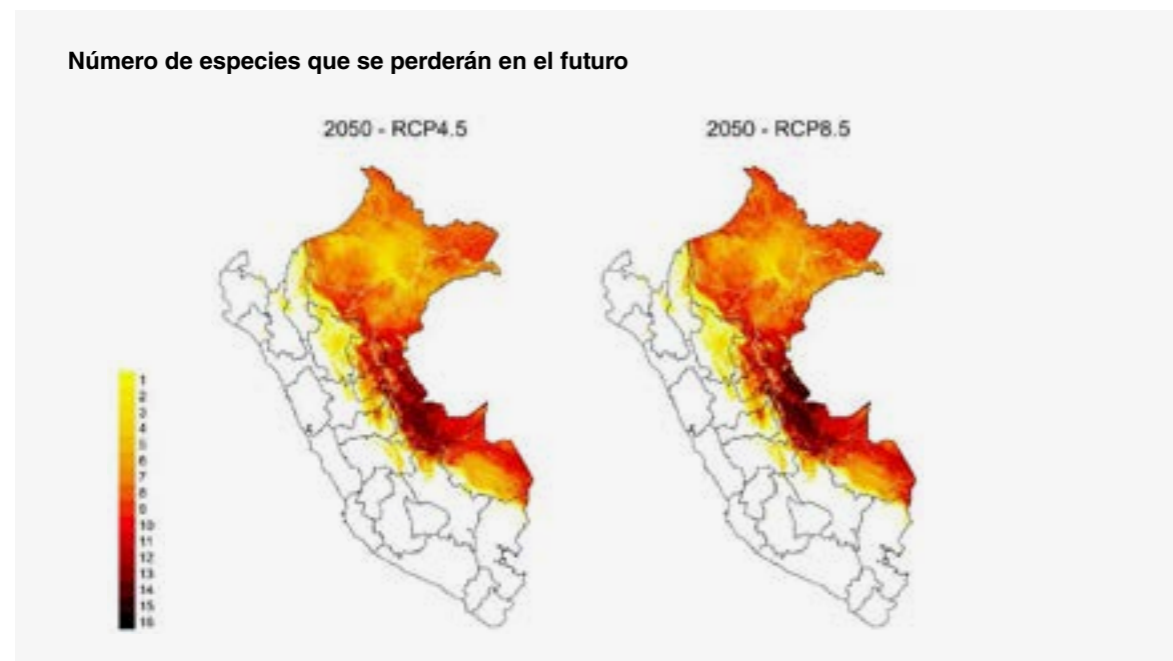
El cambio neto de área idónea a consecuencia del cambio climático varía entre las especies, observándose impactos netos negativos y positivos. Los cambios netos dentro de cada especie son bastante consistentes para los dos escenarios de emisión (RCP4.5 y RCP8.5). Los modelos predicen que 11 de las 20 especies podrían experimentar una contracción del área idónea, de las cuales 5 perderán más del 50 % del área idónea. Dos especies tienen cambio neto negativo bajo el escenario de emisión RCP4.5 y cambio neto positivo bajo el escenario RCP8.5; mientras se predice que 7 especies podrían expandir sus áreas idóneas en el futuro.

MAPA DE LA PÉRDIDA DE ESPECIES



Actualmente existen 2 áreas de alta idoneidad (color azul oscuro), es decir, con presencia de hasta 19 de las 20 especies modeladas.

La primera área está ubicada al norte de Loreto y cerca del Ecuador, y permanecerá idónea bajo los dos escenarios de emisiones futuras. Mientras que la segunda, se extiende entre Loreto y Madre de Dios, incluyendo a Ucayali, y perderá idoneidad en ambos escenarios de emisiones para por lo menos 10 de las 20 especies.



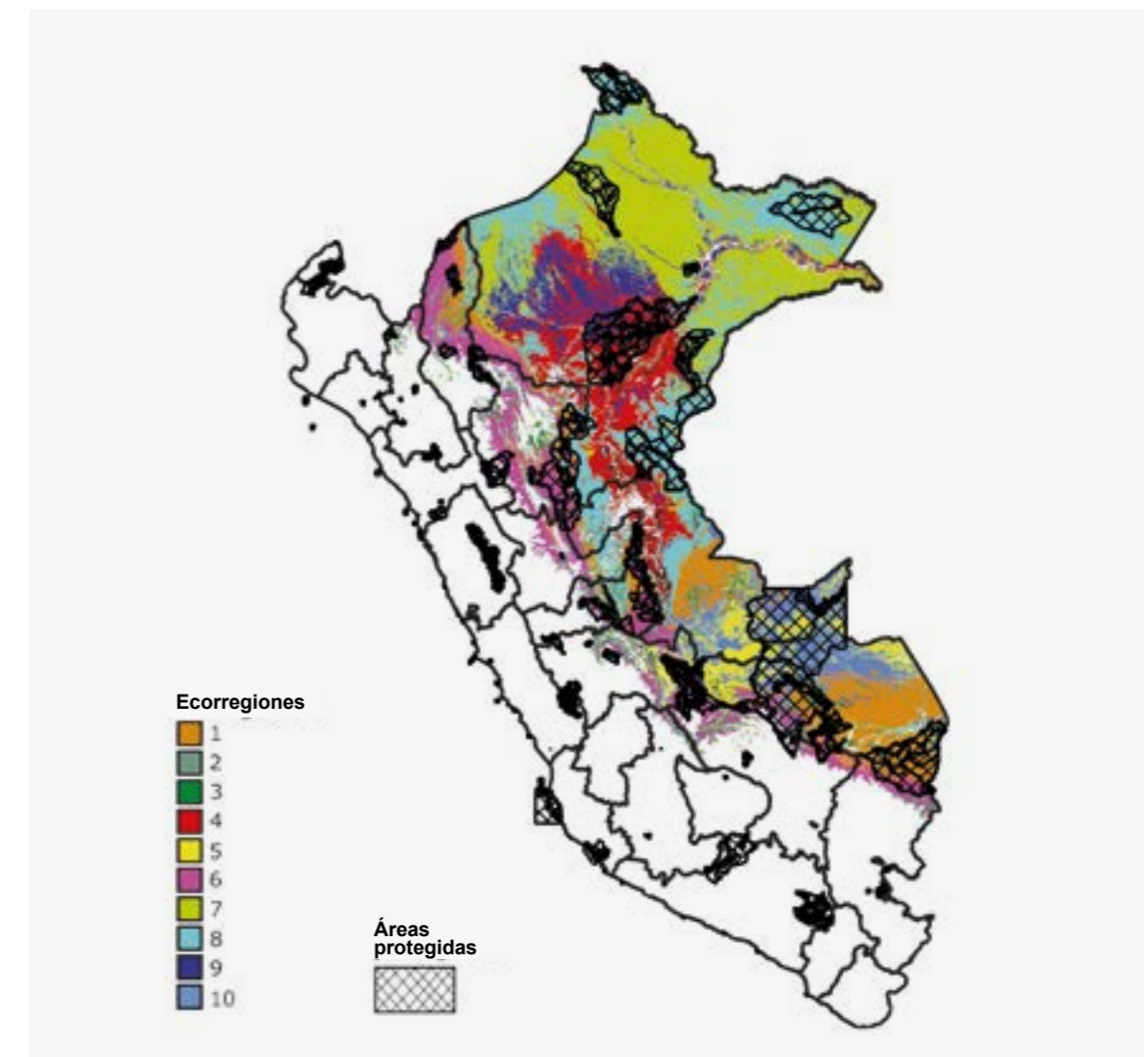
En la mayor parte de la Amazonía Peruana se reporta la pérdida de especies, el área de máxima pérdida para ambos escenarios de emisiones futuras se encuentra entre Loreto, Ucayali y el norte de Madre de Dios. El área de menor pérdida de especies (entre 1 y 3), se ubica en la parte central de Loreto y la ceja de selva de San Martín y Madre de Dios.

SUGERENCIA PARA ÁREAS PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN

Con el fin de mantener la diversidad genética, es fundamental que se conserven poblaciones representativas en cada una de las ecorregiones donde se reportan las especies, este concepto es válido tanto en el presente como en el futuro, visto que estas poblaciones pueden tener diferentes niveles de adaptación y por ende tener una composición genética divergente.

Para este análisis se utilizó el Mapa de las ecorregiones florísticas de la Amazonía Peruana (Chaves et al., 2020) y el Mapa de las Áreas Naturales Protegidas del Perú. Actualmente la mayoría de las ecorregiones amazónicas están suficientemente cubiertas por áreas protegidas y por lo tanto conservan las poblaciones locales de árboles. Las únicas excepciones son la ecorregión 5 (Ucayali-Madre de Dios-Cusco) y la ecorregión 6 (pre cordillera andina), donde se reporta la presencia de *Croton palanostigma* y *Parahancornia peruviana*, respectivamente, que no están incluidas en áreas protegidas.

Sin embargo, la situación podría cambiar en el futuro debido a la contracción de las distribuciones idóneas, que cambiarían para 6 de las 20 especies. El cambio sería especialmente drástico en las ecorregiones 2 (bajos Andes), 5 (Ucayali, Madre de Dios-Cusco) y 9 (bosques inundables). Las especies más amenazada serían *Maytenus macrocarpa* y *Cedrelinga cateniformis*.



ANEXO 1: METODOLOGÍA

1. SELECCIÓN DE ESPECIES

Se colectaron los puntos de presencia de todas las especies arbóreas y arbustivas en la Amazonía Peruana, según la lista nacional de Perú (Brako and Zarucchi, 1993). Los puntos de presencia fueron obtenidos de las siguientes bases: GBIF (Global Biodiversity Information Facility; www.gbif.org), BIEN (Botanical Information and Ecology Network; <http://biendata.org/>), Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, y la Base de Datos Espaciales del OSINFOR. Cabe señalar que, aunque solo se realizó el modelamiento de la distribución para un subconjunto de estas especies, se utilizaron los puntos de presencia de todas las especies como insumo para el modelamiento en la selección de variables.

Luego de coleccionar los datos, se procedió con la selección de las especies para el modelamiento de acuerdo a los siguientes criterios: (i) que las especies tengan un grado de amenaza según el Decreto Supremo N° 043-2006-AG o estén identificadas como especies forestales de acuerdo a la Resolución Ejecutiva N° 118-2019-MINAGRI-SERFOR-DE, (ii) que existan como mínimo 15 puntos de presencia en resolución 10 arcmin, y (iii) que por lo menos la mitad de los puntos de presencia se encuentren ubicados en la Amazonía. Los ecosistemas de la Amazonía fueron definidos en función al mapa de ecorregiones terrestres de Olson (Olson & Dinerstein, 2002). Consecuentemente, 20 especies cumplieron con estos criterios y fueron utilizadas para el modelamiento.

2. VARIABLES AMBIENTALES

Para el modelamiento se utilizaron 35 variables ambientales: 21 variables climáticas, 9 variables de suelo y 5 variables de terreno o fisiográficas. Las 19 variables bioclimáticas se obtuvieron de la base de datos WorldClim – Global Climate Data, las variables de evapotranspiración potencial anual e índice de aridez, fueron calculadas a través de los datos bioclimáticos, las variables de suelo se obtuvieron de SoilGrids – ISRIC World Soil Information, mientras que las variables de terreno corresponden a la variación de altitud; analizadas mediante el paquete *raster* en el programa R.

3. MODELAMIENTO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Selección de variables ambientales para eliminar la colinealidad

Las variables colineales pueden confundir los algoritmos que modelan los nichos ecológicos, y por esto se requiere seleccionar un sub grupo de variables no colineales para la modelación. Las variables colineales se eliminaron con base a cálculos escalonados de los factores de inflación de varianza (VIF por sus siglas en inglés), reteniendo solamente variables con un VIF menor a 5. Debido a que la colinealidad entre las variables puede cambiar tanto en fuerza como en dirección, y en condiciones climáticas presentes como futuras, el análisis de colinealidad se llevó a cabo para ambas condiciones, reteniéndose solo las variables con un VIF menor que 5 (Braunisch et al., 2013).

Filtración de los puntos de presencia para reducir el efecto del sesgo espacial

El sesgo espacial de muestreo de los puntos de presencia puede reducir el desempeño de los modelos, por ello, se filtraron los puntos de presencia utilizando el método de filtración ambiental descrito por Varela et al. (2014).

Para este método de filtración, se retiene aleatoriamente un punto para cada celda multidimensional constituida por las variables ambientales. Tanto la dimensión de la celda, así como los componentes principales, fueron definidos para cada especie.

Selección de los puntos de pseudo-ausencia

Los puntos de pseudo-ausencia se seleccionaron de acuerdo al método de *target group* descrito por Phillip et al., 2009 y Mateo et al., 2010. El método implica la selección de puntos dentro de las celdas de cuadrícula de especies que pertenecen a un grupo similar a las modeladas, estas ubicaciones reflejan un sesgo similar al sesgo de muestreo de las especies modeladas, reduciendo de esta manera los efectos de los puntos de presencia espacialmente sesgados en la calibración del modelo. Para el método de *target group* se utilizan todos los puntos de presencia de todas las especies arbóreas de la lista nacional de Perú (Brako & Zarucchi, 1993).

Como los parámetros de precisión del modelo se inflan fácilmente al extender el rango geográfico, los puntos de pseudo-ausencia se seleccionan con base al área delimitada por un polígono de cápsula convexa (*convex hull*) que se crea alrededor de todos los puntos de presencia, esta cápsula se extiende en una zona de influencia (*buffer*) correspondiente al 10 % del eje más grande del polígono (Acevedo et al., 2012).

Como varias especies incluían parte de los Andes en el área de la cápsula convexa, se restringió a áreas por debajo de los 2500 msnm. Lo cual permitió mejorar la capacidad de los modelos para distinguir con precisión entre puntos de presencia y ausencia en altitudes más bajas.

Modelamiento de nichos ecológicos

La modelación de los nichos para las especies estudiadas se realizó utilizando hasta 9 algoritmos, mediante el uso de BiodiversityR (Kindt, 2018). Los algoritmos considerados son:

- » Algoritmo de entropía máxima (MAXENT)
- » Random forest (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)
- » Splines de regresión adaptativa multivariante (EARTH)

Los algoritmos se validan de forma cruzada utilizando bloques espaciales con el paquete blockCV para R (Valavi et al., 2019), según la metodología descrita por Fremout et al. (2020). Los pesos de los algoritmos en cada uno de los modelos de ensamble se optimizaron utilizando la función *ensemble.tune* del paquete BiodiversityR, que maximiza el valor AUC de los ensambles optimizando los pesos de los diferentes algoritmos mediante un procedimiento factorial (Kindt, 2018).

Los ensambles se calibraron nuevamente utilizando todos los puntos de presencia y pseudo-ausencia; las predicciones finales de idoneidad del ensamble se hacen utilizando los pesos equivalentes previamente optimizados. Los modelos son evaluados a través de los parámetros de AUC y cv AUC. El AUC indica cuánto de la distribución obtenida corresponde a los puntos de presencia, mientras que el cv AUC indica la capacidad del modelo de predecir presencia en áreas donde no fue calibrado, y por lo tanto indica cuán confiable es para las proyecciones futuras.

Proyecciones futuras por impacto del cambio climático

Una vez calibrado el modelo mediante los puntos de presencia y las variables ambientales, obtenemos la modelación del cambio climático en las proyecciones, utilizando los escenarios futuros.

Para las proyecciones futuras se considera el horizonte temporal 2040-2069 y 2 escenarios de emisión (denominado Representative Concentration Pathways, RCP por sus siglas en inglés) RCP4.5 y RCP8.5. El RCP4.5 hace referencia a un escenario de estabilización, teniendo en cuenta la disminución de emisiones según lo establecido en el Acuerdo de París (Tribett et al., 2017); mientras que el RCP8.5 es el escenario más pesimista.

Las condiciones climáticas futuras se caracterizaron mediante el uso de cinco modelos de circulación general (GCM) de cambio climático obtenidos del Portal de Cambio de la CCAFS (Ramírez Villegas & Jarvis, 2010): CESM1 (CAM5), GFDL-CM3, HADGEM2-ES, MIROC5 y MPI-ESM-LR.

Se considera que la especie modelada mantendrá la idoneidad a futuro en las áreas donde al menos 4 de los 5 modelos climáticos identifican idoneidad para la especie. Finalmente se define un umbral de MCG que proyecta el área que permanecerá idónea a futuro.

El modelo permite comparar la distribución futura con la distribución presente, identificando las áreas que permanecerán idóneas y aquellas que perderán idoneidad. Cada modelo produce una distribución futura diferente, existiendo un margen de incertidumbre que es necesario considerar.

Debemos tener en cuenta que las proyecciones futuras de idoneidad solo se refieren a las condiciones ambientales (cambio climático) y no abarcan las demás condiciones a las que estarían expuestas la especie, tales como interacciones bióticas con otros organismos (plagas, competencia, etc.), amenazas como la deforestación y sobre explotación, y la capacidad de dispersión.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, P., Jiménez-Valverde, A., Lobo, J.M., Real, R., 2012. Delimiting the geographical background in species distribution modelling. *Journal of Biogeography* 39, 1383-1390, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2012.02713.x>.
- Brako, L., Zarucchi, J.L., 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Peru: Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. *Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden* 45, 1-1286, Downloaded from <http://legacy.tropicos.org/ProjectAdvSearch.aspx?projectid=5>.
- 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, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00138.x>.
- Chaves, P.P., Zuquim, G., Ruokolainen, K., Kalliola, R., Rivero, E.G., Tuomisto, H., 2020. Mapping Floristic Patterns of Trees in Peruvian Amazonia Using Remote Sensing and Machine Learning. *Remote Sensing* 12, 1523.
- Clements, J., Schulenberg, T., Iliff, M., Billerman, S., Fredericks, T., Sullivan, B., Wood, C., 2019. The eBird/Clements Checklist of Birds of the World: v2019. Downloaded from <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>
- Decreto Supremo N° 043-2006-AG, 2006. Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre. *Diario Oficial El Peruano*, Lima, Peru, Retrieved from <https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/2016/10/NAT-3-3-03-DS-043-2006-AG.pdf>.
- Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J.R.G., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P.J., 2013. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36, 27-46, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.
- Fremout, T., Thomas, E., Gaisberger, H., Van Meerbeek, K., Muenchow, J., Briers, S., Gutierrez-Miranda, C.E., Marcelo-Peña, J.L., Kindt, R., Atkinson, R., 2020. Mapping tree species vulnerability to multiple threats as a guide to restoration and conservation of tropical dry forests. *Global Change Biology* 26, 3552-3568, <https://doi.org/10.1111/gcb.15028>.
- Jiménez-Valverde, A., Lobo, J.M., 2007. Threshold criteria for conversion of probability of species presence to either-or presence-absence. *Acta Oecologica* 31, 361-369, <https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.02.001>.
- Kindt, R., 2018. Ensemble species distribution modelling with transformed suitability values. *Environmental Modelling & Software* 100, 136-145, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.009>.
- Knutti, R., Masson, D., Gettelman, A., 2013. Climate model genealogy: Generation CMIP5 and how we got there. *Geophysical Research Letters* 40, 1194-1199, <https://doi.org/10.1002/grl.50256>.

- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., Real, R., 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* 17, 145-151, <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>.
- Mateo, R.G., Croat, T.B., Felicísimo, Á.M., Muñoz, J., 2010. Profile or group discriminative techniques? Generating reliable species distribution models using pseudo-absences and target-group absences from natural history collections. *Diversity and Distributions* 16, 84-94, <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00617.x>.
- Muscarella, R., Galante, P.J., Soley-Guardia, M., Boria, R.A., Kass, J.M., Uriarte, M., Anderson, R.P., 2014. ENM eval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 1198-1205, <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12261>.
- Olson, D.M., Dinerstein, E., 2002. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 199-224, Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/3298564>.
- Phillips, S.J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C.H., Lehmann, A., Leathwick, J., Ferrier, S., 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications* 19, 181-197, <https://doi.org/10.1890/07-2153.1>.
- Ramírez Villegas, J., Jarvis, A., 2010. Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis Working Paper No. 1.
- Schlaepfer, D.R., Bradford, J.B., Lauenroth, W.K., Munson, S.M., Tietjen, B., Hall, S.A., Wilson, S.D., Duniway, M.C., Jia, G., Pyke, D.A., 2017. Climate change reduces extent of temperate drylands and intensifies drought in deep soils. *Nature Communications* 8, 14196, <https://doi.org/10.1038/ncomms14196>.
- SERFOR, 2018. Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú. SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre), Lima, p. 548.
- Tribett, W., Salawitch, R., Hope, A., Canty, T., Bennett, B., 2017. Paris INDCs (Ch. 3). Paris climate agreement: Beacon of hope. Springer International Publishing.
- Valavi, R., Elith, J., Lahoz-Monfort, J.J., Guillera-Aroita, G., 2019. block CV: An R package for generating spatially or environmentally separated folds for k-fold cross-validation of species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution* 10, 225-232, <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13107>.
- Varela, S., Anderson, R.P., García-Valdés, R., Fernández-González, F., 2014. Environmental filters reduce the effects of sampling bias and improve predictions of ecological niche models. *Ecography* 37, 1084-1091, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00441.x>.
- Wenger, S.J., Olden, J.D., 2012. Assessing transferability of ecological models: an underappreciated aspect of statistical validation. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 260-267, <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00170.x>.

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
Av. Javier Prado Oeste N° 2442, Urb. Orrantia,
Magdalena del Mar - Lima
T. (511) 225 9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri

