



Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia:

# ESPECIES NATIVAS Y BIOCOMERCIO

2015



**DNP** Departamento  
Nacional  
de Planeación



**TODOS POR UN  
NUEVO PAÍS**  
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



**BID**



# IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

## ESPECIES NATIVAS Y BIOCOMERCIO

Jeimar Tapasco, Mayra Orrego-Varón, David Arango-Londoño,  
Julián Ramírez-Villegas, Stephanie Croft, Liliana Gil,  
Antonio Pantoja, Silvia Calderón, Germán Romero,  
Daniel A. Ordóñez, Andrés Álvarez,  
Leonardo Sánchez-Aragón, Carlos E. Ludeña.





## Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Especies Nativas y Biocomercio / Jeimar Tapasco, Mayra Orrego-Varón, David Arango-Londoño, Julián Ramírez-Villegas, Stephanie Croft, Liliana Gil, Antonio Pantoja, Silvia Calderón, Germán Romero, Daniel A. Ordóñez, Andrés Álvarez, Leonardo Sánchez-Aragón, Carlos E. Ludeña.

p. cm. — (Monografía del BID; 257)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Economic impact analysis—Colombia. 2. Climatic changes—Colombia. 3. Biodiversity—Economic aspects—Colombia. 4. Free trade—Environmental aspects—Colombia. I. Tapasco, Jeimar. II. Orrego-Varón, Mayra. III. Arango-Londoño, David. IV. Ramírez-Villegas, Julián. V. Croft, Stephanie. VI. Gil, Liliana. VII. Pantoja, Antonio. VIII. Calderón, Silvia. IX. Romero, Germán. X. Ordóñez, Daniel A. XI. Álvarez, Andrés. XII. Sánchez-Aragón, Leonardo. XIII. Ludeña, Carlos E. XIV. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Cambio Climático y Sostenibilidad. XV. Series. IDB-MG-257

Clasificación JEL: Q54, Q57, O54

Palabras claves: cambio climático, biodiversidad, biocomercio, manglares, polinizador, Colombia

Este documento es uno de los análisis sectoriales que conforman la serie "Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia" del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), desarrollado en conjunto con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), en el marco del Estudio Regional de la Economía del Cambio Climático (ERECC) en América Latina y el Caribe, coordinado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

El presente documento fue preparado por Jeimar Tapasco, Mayra Orrego-Varón, David Arango-Londoño, Julián Ramírez-Villegas, Stephanie Croft, Liliana Gil y Antonio Pantoja (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT), bajo la coordinación de Silvia Calderón, Germán Romero, Daniel Alejandro Ordóñez y Andrés Álvarez, Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Carlos Ludeña y Leonardo Sánchez-Aragón (BID), y los aportes de Carlos de Miguel, Karina Martínez y Mauricio Pereira (CEPAL). Se agradece a Paul Peters y Camilo Peña por el material fotográfico aportado, y a Diana Gutiérrez por los comentarios al documento.

### Citar como:

Tapasco, J., M. A. Orrego-Varón, D. Arango-Londoño, J. Ramírez-Villegas, S. Croft, L. Gil, A. Pantoja, S. Calderón, G. Romero, D. A. Ordóñez, A. Álvarez, L. Sánchez-Aragón y C. E. Ludeña. 2015. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Especies Nativas y Biocomercio. Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 257, Washington D.C.

Copyright © 2015 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra está bajo una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

<http://www.iadb.org>



# Contenido

## ESPECIES NATIVAS Y BIOCOMERCIO

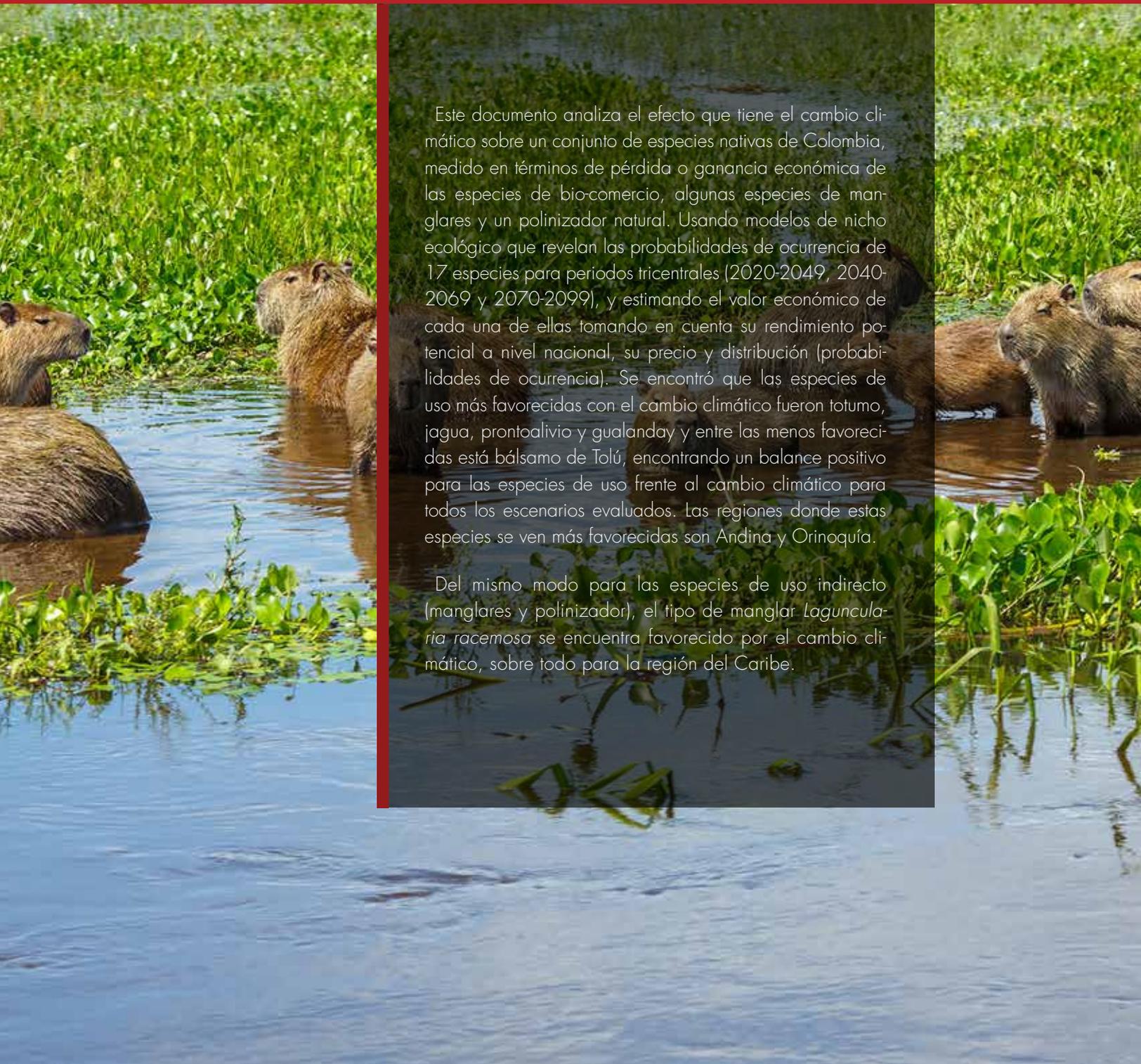
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>2. PRIORIZACIÓN DE ESPECIES</b>	8
<b>3. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS</b>	11
<b>3.1.</b> Configuración de ensamble	11
<b>3.2.</b> Modelos de nicho ecológico y parámetros de configuración	11
<b>3.3.</b> Modelo de distribución de especies	13
<b>4. ANÁLISIS DE IMPACTO E INCERTIDUMBRE</b>	14
<b>5. VALORACIÓN ECONÓMICA</b>	15
<b>6. RESULTADOS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR</b>	18
<b>6.1.</b> Especies de uso directo	18
<b>6.2.</b> Especies de uso indirecto	22
<b>7. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	24
<b>8. RECOMENDACIONES DE POLÍTICA</b>	25
<b>9. CONCLUSIONES</b>	26
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	27
<b>ANEXO I:</b> Impacto del cambio climático sobre las especies de uso directo por departamentos bajo los escenarios A1B, A2 y B1, 2020 - 2099	29
<b>ANEXO II:</b> Probabilidades de ocurrencia de las especies de uso directo Crescentia cujete y Jacaranda caucana bajo los escenarios A1B, A2 y B1, 2020 - 2099	32



# Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: ESPECIES NATIVAS Y BIOCOMERCICIO

Este documento analiza el efecto que tiene el cambio climático sobre un conjunto de especies nativas de Colombia, medido en términos de pérdida o ganancia económica de las especies de bio-comercio, algunas especies de manglares y un polinizador natural. Usando modelos de nicho ecológico que revelan las probabilidades de ocurrencia de 17 especies para periodos tricentrales (2020-2049, 2040-2069 y 2070-2099), y estimando el valor económico de cada una de ellas tomando en cuenta su rendimiento potencial a nivel nacional, su precio y distribución (probabilidades de ocurrencia). Se encontró que las especies de uso más favorecidas con el cambio climático fueron totumo, jagua, prontoalivio y gualanday y entre las menos favorecidas está bálsamo de Tolú, encontrando un balance positivo para las especies de uso frente al cambio climático para todos los escenarios evaluados. Las regiones donde estas especies se ven más favorecidas son Andina y Orinoquía.

Del mismo modo para las especies de uso indirecto (manglares y polinizador), el tipo de manglar *Laguncularia racemosa* se encuentra favorecido por el cambio climático, sobre todo para la región del Caribe.





1

## Introducción

El último reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) concluyó que el cambio climático tendría un impacto significativo en muchos aspectos de la diversidad biológica, en los ecosistemas, las especies, y en las interacciones ecológicas de las mismas. Las implicaciones de este impacto son significativas para la estabilidad a largo plazo del mundo natural y para muchos de los beneficios y servicios de los cuales los seres humanos se benefician (Campbell et al., 2009).

Estos bienes y servicios que la humanidad utiliza de forma directa o indirecta se han reconocido como Servicios Ecosistémicos, y son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que constituyen la biodiversidad. Los servicios ecosistémicos han sido reconocidos como el puente de unión entre la biodiversidad y el ser humano. Esto significa que las acciones que históricamente se han realizado para la conservación de la biodiversidad (p.ej. áreas protegidas, conservación de especies focales, corredores biológicos, entre otros), no son actividades ajenas al desarrollo, sino que por el contrario, han contribuido significativamente a la provisión de servicios ecosistémicos de los cuales depende directa e indirectamente el desarrollo de todas las actividades humanas de producción, extracción, asentamiento y consumo, así como el bienestar de nuestras sociedades (MEA, 2005). En este sentido la biodiversidad es la fuente, base y garantía del suministro de servicios ecosistémicos, indispensables para el desarrollo sostenible del país, la adaptación ante los cambios ambientales globales y el bienestar de la sociedad colombiana.

El ecosistema de Bosque tropical, su distribución y sus interacciones con otros ecosistemas se constituye en un buen indicador de la biodiversidad (Jarvis, 2005). Los bosques tropicales abarcan aproximadamente 7% de la superficie terrestre del planeta, entre los continentes de Asia, África y América Latina, y se cree que albergan más de la mitad de las especies del mundo (Wilson, 1992 citado por Jarvis, 2005). La totalidad de la superficie Colombiana, representa sólo 0.7% de la superficie terrestre, y aun así, es uno de los siete países más megadiversos del mundo, albergando 10% de la biodiversidad (Gómez y Ortega, 2008). De igual forma, Colombia es uno de los países con mayor diversidad de plantas, representada en gran variedad de ecosistemas como los bosques húmedos tropicales, las sabanas llaneras y los bosques aluviales o de vegas, entre otros.

Esta "Megadiversidad" está directamente relacionada con el número de especies existentes en el territorio nacional. De acuerdo con Forero (1985), citado por Duque (2002) en Colombia se reportan aproximadamente 50.000 especies de flora, de las cuales, cerca de 6.000 poseen algún tipo de característica medicinal. Alonso et al., (2001) reportaron que cerca del 30% de los productos farmacéuticos que existen hoy en el mercado han sido desarrollados a partir de plantas y animales.

En el país se comercializan aproximadamente 156 especies de plantas medicinales y aromáticas, 41% de éstas consideradas especies nativas. Además, el 40% de las especies comercializadas está actualmente incluido en la lista de plantas permitidas del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos -INVIMA- (Olaya-Álvarez, 2006), el

cual ha aprobado 119 plantas para uso medicinal, que comprenden el Vademécum colombiano de plantas medicinales, las cuales son ampliamente utilizadas y comercializadas a nivel nacional y tienen un gran potencial de comercialización en el exterior (Díaz, 2003).

Adicionalmente, el uso de plantas aromáticas frescas o deshidratadas, además de aceites, colorantes, mieles, extractos y muchos otros productos, es creciente en el país y el mundo (Gómez y Ortega, 2007). Como ejemplo, para el 2007 se estima que los mercados europeo y Estadounidense de bebidas y alimentos naturales, donde Colombia ha venido participando con ventas cercanas a los 17 millones de dólares anuales, podría alcanzar los 22 mil y 27,5 mil millones de dólares por año (Gómez y Ortega, 2007).

Dada la importancia de estas especies y las evidencias del cambio en el clima en periodos posteriores, se quiere conocer los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, los cuales todavía no son conocidos de manera amplia; por otro lado, muchas de las afirmaciones que se hacen hoy obedecen a fuentes indirectas de información, casos de otras regiones del planeta o razonamiento académico. En la mayoría de los casos, el tema se aborda desde la modelación climática futura y la modelación. En la mayoría de los casos, el tema se aborda desde la modelación climática futura y la modelación de cambios en las condiciones de distribución de algunas especies. Al respecto, a nivel de especies son aún pocos los trabajos que presentan potenciales impactos del cambio climático sobre los patrones de distribución. Por ejemplo, Urbina-Cardona y Castro (2010) encontraron que al menos tres especies de anfibios y reptiles con potencial invasor y con presencia comprobada entre 10 y 30% del territorio nacional, pueden llegar a ser beneficiados ante el cambio climático, debido a la ampliación de sus nichos ecológicos, llegando a ocupar entre 33 y 75% del país.

En el estudio de CEPAL (2013) se parte de un análisis de nicho ecológico, para inferir los posibles cambios en cobertura de algunos ecosistemas colombianos y realizar una valoración económica. En BID-CEPAL-DNP (2014), se presentan una síntesis del estudio que será presentado en este trabajo con especies nativas de uso directo e indirecto, además de incluir análisis de otras especies comerciales relevantes para el sector agropecuario.

Respecto a los efectos sobre la distribución de especies, los modelos muestran que la disminución en el área de distribución potencial de especies es el patrón predominante (Pedraza y Zea, 2010). Los patrones de riqueza actual y proyectada se encuentran concentrados en las zonas montañosas de Colombia, Cordilleras de los Andes y la Sierra Nevada de Santa Marta. La variación en los patrones de distribución de la riqueza potencial producto del cambio climático sugiere que las zonas de mayor riqueza de especies se desplazarían durante el periodo 2070-2099, hacia rangos altitudinales superiores con respecto a los patrones actuales potenciales (Pedraza y Zea, 2010 citado en citado en PNGIBSE).

Existen por lo menos 150 productos forestales no maderables (PFNM) que tienen importancia en el comercio internacional como la miel, la goma arábica, el bambú, el corcho, las nueces y hongos, las resinas, los aceites esenciales y partes de plantas y animales para obtener productos farmacéuticos. De igual forma, en los últimos años los productos forestales no maderables han comenzado a ser considerados de gran importancia para la conse-



cución de objetivos ambientales como la conservación de la diversidad biológica (FAO, 2003 citado por González, 2003). Con los avances recientes en el campo de modelación de distribución de especies en términos de teoría ecológica, evaluación y selección de modelos (Buisson et al., 2010; Warren y Seifert, 2011), y el uso (ahora más frecuente) de lo que se conoce como *ensemble modelling* (Araújo y New, 2007; Thuiller et al., 2009), surge la oportunidad de producir proyecciones robustas de los impactos del cambio climático sobre las distribuciones de las especies en Colombia.

En este documento se estudian los efectos que el cambio climático podría llegar a tener sobre la biodiversidad en Colombia. La selección de especies, revisión de literatura, colección de datos, modelación, distribución de especies bajo clima presente y futuro y su valor económico son el objetivo y esquema general de este documento. Se estima el impacto del cambio climático sobre 17 especies priorizadas, tomando como referencia los escenarios climáticos SRES-A1B, SRES-A2 y SRES-B1. Se presenta la metodología del modelo de distribución de especies y de valoración, información empleada, descripción de los datos, estimaciones, discusión de resultados, medidas de adaptación y recomendaciones de política a nivel nacional y por departamentos.

## 2 Priorización de especies

La priorización de especies de importancia económica en Colombia, se basa en la biodiversidad de plantas nativas que se cosecha mayoritariamente de forma silvestre y son fuente de ingredientes naturales para la industria cosmética, farmacéutica y alimenticia, además de su importancia cultural y de desarrollo sostenible de las comunidades que las extraen (Klinger et al., 2000; Cárdenas et al., 2003; González, 2003).

La industria de los ingredientes naturales es una de las oportunidades que tiene Colombia a partir de su riqueza en biodiversidad y de las dinámicas crecientes que ofrece el mercado en estos sectores. Mundialmente, se calcula que la industria de productos naturales alcanza a mover cerca de 300 billones de dólares por año (artículo publicado en el periódico La Republica y citado por Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2009); adicionalmente y según información del Instituto Alexander Von Humboldt, se calcula que las ventas en Colombia de productos naturales de la biodiversidad para el año 2006 estuvieron alrededor de los 25 millones de dólares.

De acuerdo con el estudio realizado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano (2009), se seleccionaron 17 especies nativas de Colombia, donde se identificaron dos grupos de especies a modelar: especies de uso indirecto (i.e. aquellas cuya explotación, aunque poco intensiva es la fuente del servicio ecosistémico) de las cuales siete son fuente de alimento, cuatro tienen uso cosmético y ocho tienen uso medicinal o farmacéutico (Tabla 1); y especies de uso indirecto (i.e. aquellas cuya conservación es necesaria para la obtención de servicios ecosistémicos), donde la selección de éstas se realizó con base en criterio de expertos, y del personal de investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. En este caso se identificaron cuatro especies de manglar y un polinizador (Tabla 2).

**Tabla 1.** Lista de especies de uso directo priorizadas

Nombre Científico	Nombre Común	Uso
<i>Borojoa patinoi</i>	Borojó	Fruta, planta medicinal
<i>Bixa orellana</i>	Achiote, onoto, urucú,eroyá, uñañé, achote de monte	Planta medicinal, cosmético
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Dividivi	Colorante, cosmética
<i>Crescentia cujete</i>	Totumo, morro, jícara, calabacero, calabaza, morrito	Planta medicinal
<i>Genipa americana</i>	Guate, ñandypá, jagua, jalma, huitó, nané, kipurá, caruto	Planta medicinal (colourant, pharmaceutical)
<i>Indigofera suffruticosa</i>	Añil, wara atsu, añil indigo, curí	Colorante, planta medicinal
<i>Jacaranda caucana pittier</i>	Cacao, caballito, riñón de oreja, gualanday, acacia	Planta medicinal
<i>Lippia alba</i>	Falsa melissa, prontoalivio, quitadolor	Planta medicinal
<i>Mint hostachys mollis</i>	Muña, tusilago chabama	Planta medicinal
<i>Myroxylon balsamum</i>	Bálsamo tolutiano, bálsamo, estoraque, guararo, pidoquera, tache	Planta medicinal
<i>Oenocarpus batava</i>	Palma de seje, milpesos, unamo, seje, coroba, vesirri, milpé, coroiba	Planta medicinal, comida
<i>Smilax mollis</i>		Planta medicinal

Fuente: Tomado del estudio de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (2009)

**Tabla 2.** Lista de especies de uso indirecto priorizadas

Nombre Científico	Nombre Común	Uso indirecto
<i>Avicennia germinans</i>	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos)
<i>Laguncularia racemosa</i>	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos)
<i>Rhizophora mangle</i>	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos)
<i>Pelliciera racemosa</i>	Manglar	Extracción artesanal de productos del mar (peces, crustáceos y moluscos)
<i>Xylocopa frontalis</i>	Polinizador	Polinización de frutales

Fuente: Elaboración propia

Colombia cuenta con una importante cantidad de estudios y trabajos relacionados con los productos forestales no maderables (PFNM), que tienen como objetivo implementar en las comunidades de productores, el mejoramiento tecnológico del proceso de extracción, con el fin de obtener mayor eficiencia en el rendimiento, mantener la calidad y generar una práctica sostenible (González, 2003). Resultado de las investigaciones de centros, universidades y ONG que documentan investigaciones base sobre los productos más utilizados por las comunidades, se cuentan estudios de extracción, producción transformación o procesamiento, recopilación y validación de conocimientos y prácticas tradicionales, así como



estudios y sondeos de mercado (González, 2003). En varios de los mencionados estudios se incluyen algunas de las especies de plantas que se han priorizado para este estudio y sustentan su importancia no sólo económica sino cultural y de desarrollo sostenible de las comunidades que las extraen.

La importancia de estas especies nativas se ve reflejada también en estudios como los de la Universidad Tecnológica del Chocó (1998) el cual presenta como objetivo, implementar en las comunidades de productores de la región del Pacífico colombiano, el mejoramiento tecnológico del proceso de extracción del aceite de palma (González, 2003). Del mismo modo, estudios como el de Klinger et al., (2000) para especies promisorias del Trapecio Amazónico, incluyen especies como achiote rojo y amarillo (*Bixa orellana*) y el uito o jagua (*Genipa americana*) con posibilidades de uso para la tinción de fibras como la paja tetera y la lana natural. Por su parte, (Cárdenas et al., 2002) evalúan la oferta y la rentabilidad de los productos entre ellos borojó (*Borojoa patinoi*) y el arazá (*Eugenia stipitata*). De igual forma el Instituto Amazónico de Investigaciones SINCHI, CORPOAMAZONÍA el Instituto Humboldt, CORMAGDALENA, La Universidad del Cauca, han desarrollado estudios relacionados con la producción, manejo y procesamiento de frutales amazónicos en donde se incluyen las especies frutales mencionadas (González, 2003).

Con lo anterior, se refleja la importancia de estas especies tanto cultural como económica y para fines de este estudio, con el fin de realizar las estimaciones pertinentes, se realizó una búsqueda de información sobre hábitats naturales y rangos óptimos climáticos para así registrar su presencia; se recolectaron datos de ocurrencia de GBIF (Global Biodiversity Information Facility) y se complementaron con datos de ocurrencia de estudios publicados en literatura académica y literatura gris, además se toma en cuenta el portal de Recursos Genéticos (acrónimo en Inglés: GENESYS), y la base de datos de abejas y ácaros UMMZ. Cuando fue posible, los registros incompletos (i.e. sin coordenadas pero son información de localidad) se georreferenciaron haciendo uso de algoritmos basados en Google Maps desarrollados por el CIAT.

Adicionalmente, se realiza un proceso de limpieza de datos con el objetivo de eliminar datos erróneos. También se realiza un filtro adicional de los datos, el cual consiste en:

- i) identificación de registros que contienen datos de localidad contradictorios;
- ii) eliminación de registros en localidades con intervención humana significativa; y
- iii) exclusión de registros cuyas locaciones se encontraban fuera del área de estudio o el área de distribución nativa de las especies. Esto último se realiza debido a que el objetivo principal es el de analizar poblaciones de las especies que ocurren naturalmente en localidades 'silvestres'.

Por último, se realiza un diseño de experimentos de modelación en el cual se construye un ensamble de oportunidad utilizando diferentes técnicas de modelación, la cual produce proyecciones de los impactos del cambio climático sobre la distribución de las especies en Colombia y servirá como insumo principal para el desarrollo de la estrategia empírica - cálculo del valor económico de estas especies priorizadas.

## 3

## Metodología del análisis

### 3.1. Configuración del ensamble

La identificación de la ecología de las especies es un componente esencial cuando se usan modelos de distribución de especies (modelos de nicho ecológico, MNE). En primer lugar, es necesario contar con datos de ocurrencia para calibrar y evaluar el desempeño de los modelos. Por otra parte, la teoría ecológica puede guiar la selección de variables utilizadas como indicadores ambientales para entrenar los modelos en el ensamble. En este estudio se analizan variables directas e indirectas, y, particularmente en el contexto de la modelación de impactos del cambio climático, se presta especial atención a los factores limitantes de las especies.

A escala global, el clima es considerado como un factor determinante, mientras que a escalas locales, la topografía, el tipo de suelo y las interacciones bióticas juegan un papel importante (Pearson y Dawson, 2003).

Al tratarse de un estudio de impacto del cambio climático en Colombia, en donde las especies propuestas para la priorización se registran en regiones geográficas muy diferentes, es ideal considerar tanto variables climáticas, como variables de suelo y cobertura de suelos (Pearson et al., 2004; Araujo y Luoto, 2007; Heikkinen et al., 2007; Titeux et al., 2009).

Para caracterizar el “clima presente” y realizar un adecuado entrenamiento de los modelos de nicho, se usan los promedios climatológicos mensuales de precipitación y temperatura (máximas, medias y mínimas) que se encuentran disponibles en la base de datos de WorldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org); Hijmans et al., 2005). Usando los datos mensuales de temperatura y precipitación reportados en WorldClim, se calculan 19 índices “bioclimáticos” (Ramirez-Villegas et al., 2010) y el índice de estacionalidad Feng et al. (2013). En adición a estos se utilizan dos índices topográficos (pendiente, aspecto) y la capacidad de retención de humedad del suelo.

Para las proyecciones futuras, se escogieron tres horizontes temporales tricenales: el periodo 2020-2049, el periodo 2040-2069 y el periodo 2070-2099. Se construyen escenarios climáticos futuros por cada región y para las épocas que permitan la cuantificación de incertidumbres para cada escenario (i.e. se usan los escenarios de emisiones SRES-A2, SRES-A1B y SRES-B1, y tantos GCM como se encuentren disponibles). Los escenarios futuros se generan con la metodología de Ramirez-Villegas y Jarvis (2010), que se basa en una simple corrección de sesgo a las medias mensuales de los modelos climáticos. Para cada escenario climático, se calculan las mismas variables bioclimáticas y el índice de estacionalidad.

### 3.2. Modelos de nicho ecológico y parámetros de configuración

Este modelo describe la idoneidad del hábitat en un espacio ecológico, que a su vez se proyecta en un espacio geográfico. La proyección del modelo en el espacio geográfico



representa la distribución potencial de la especie. Los modelos de Nicho Ecológico – MNE son una abstracción (dimensional) de una interacción infinito-multidimensional entre los individuos; queda explícito que el nicho real de la especie puede ser mucho más pequeño.

Este modelo requiere los registros de las especies presentes y un conjunto de variables ambientales, que actúan como predictores (Phillips et al., 2006). La expresión de la idoneidad del hábitat puede ser binaria, otorgando un valor de 1 a áreas idóneas y 0 a áreas no idóneas; o continuas, según un rango de valores que clasifican el territorio de menor a mayor grado de idoneidad (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007). En la construcción de estos modelos resultan críticos una serie de factores que afectan en gran medida a la precisión del resultado final (Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007) como:

- **La calidad de los datos de localización:** Dos tipos de datos son los utilizados habitualmente para generar modelos de idoneidad de hábitat: registros de presencia y registros de presencia-ausencia.
- **Las variables predictivas seleccionadas:** Idealmente deberían ser aquellas que se consideren las causantes directas de la distribución de la especie, aunque es habitual que se utilicen únicamente las disponibles, generalmente derivadas de modelos digitales de elevaciones o interpolación espacial a partir de datos de estaciones climáticas. Las variables predictivas pueden clasificarse como: gradientes de recursos directamente consumidos (nutrientes, agua, luz, etc.); gradientes directos, que son parámetros con importancia fisiológica (temperatura, pH, etc.) y gradientes indirectos, relativos a las características físicas del territorio (orientación, elevación, pendiente, geología, etc.), pero que muestran una buena correlación con los patrones de distribución de las especies porque habitualmente reemplazan distintas combinaciones de gradientes de recursos y gradientes directos (Guisan et al., 1999; Guisan y Zimmermann, 2000 citado por Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007).

Por su parte, el clima es el principal determinante en la distribución de especies a escala continental (Thuiller et al., 2004 citado por Titeux et al., 2009). Sin embargo, a mayor resolución, otros factores diferentes del clima juegan un papel importante en la determinación de los patrones de ocupación de las especies (Luoto et al., 2007 citado por Titeux et al., 2009). Por ejemplo, a falta de recursos apropiados bajo condiciones climáticas ideales, se puede presentar ausencia de especies en los lugares que se encuentran dentro de su rango climático (Pearson et al., 2004 citado por Titeux et al., 2009). En ese caso, los modelos que solo se basan en los factores climáticos presentarían predicciones incompletas de la distribución de las especies.

Adicionalmente, un número de factores no climáticos, como por ejemplo el tipo de vegetación, características topográficas e interacciones bióticas han comenzado a ser incluidas con más frecuencia dentro del debate de modelamiento bioclimático debido a su capacidad de mejorar el funcionamiento de modelos desarrollados para una variedad de organismos y que están por encima del rango de la escala espacial (Pearson et al., 2004; Araújo y Luoto, 2007; Heikkinen et al., 2007; Luoto y Heikkinen, 2008 citados por Titeux et al., 2009). Estudios realizados por Urban et al. (2000) y Goudun y Gegout (2007) han dado a conocer que las propiedades del suelo gobiernan la presencia de plantas, mientras que

(Titeux et al., 2009) corroboran en su estudio que la incorporación de datos de cobertura de suelos y variables de suelos dentro de los modelos, adicional a los parámetros climáticos, pueden actuar como un amortiguador contra la magnitud de los rangos de cambio predichos en comparación con los modelos basados solo en los datos climáticos.

- **Algoritmo o método estadístico seleccionado:** Pueden utilizarse métodos basados en registros de presencia-ausencia, como GLM (generalized linear models), GAM (generalized additive models) (Guisan et al., 2002), y redes neuronales (Manel et al., 1999), como BRT (Boosted Regression Trees) (Elith, 2008) o algoritmos basados únicamente en presencias como Bioclim, Domain, ENFA, GARP y MaxEnt. Los modelos basados únicamente en presencias representan generalmente la distribución espacial del nicho ecológico fundamental de la especie, mientras que los basados en presencia-ausencia indican de modo más aproximado la distribución del nicho ecológico efectivo (Zaniewski et al., 2002 citado por Benito de Pando y Peñas de Giles, 2007).

Debido a las diferentes ventajas y desventajas de los diferentes Modelos de Nicho Ecológico (MNE) existentes, la literatura reciente se enfoca en el uso de ensambles de oportunidad para modelar la respuesta consensual de las especies (Thuiller et al., 2009; Maiorano et al., 2011).

Usando los datos climáticos y las ocurrencias de las especies, se ajustaron modelos de nicho ecológico usando tres técnicas: Maxent (Phillips et al., 2006); *Generalized Boosted Regressions* (Elith et al., 2008); *Generalized Additive Models* (Guisan y Zimmermann, 2000; Austin, 2002); y redes neuronales artificiales. Para cada especie se construyó un ensamble de oportunidad con la siguiente configuración:

- **10 perturbaciones de la cantidad de ruido:** variación en el número de pseudo-ausencias usadas para ajuste del modelo entre 100 y 10.000.
- **Bootstrapping de datos de entrenamiento y evaluación:** usando 10 repeticiones para separar los datos de ajuste y evaluación.
- **8 perturbaciones a la información ambiental del modelo:** para cada especie se realizó un análisis de inflación de varianza para determinar el set de variables climáticas con mínima correlación. Se usaron un total de 8 combinaciones de variables para el ajuste de los modelos.

Las pseudo-ausencias se extrajeron del bioma donde se encuentra la especie (identificado a través de literatura publicada) o de los países donde la especie ocurre naturalmente. La evaluación de los modelos y sub-selección de modelos con mejor desempeño se realizó con base en la metodología de Hijmans (2012), que penaliza la inflación del AUC usando una corrección de sesgo de muestreo, y un modelo geográfico nulo (i.e. modelo de predicción sin información ambiental).

### 3.3. Modelo de distribución de especies

Usando los datos climáticos y las ocurrencias de las especies, se ajustaron modelos de nicho ecológico usando tres técnicas principales: Maxent (Phillips et al., 2006), Gene-



ralised *Boosted Regressions* (Elith et al., 2008); *Generalized Additive Models* (Guisan y Zimmermann, 2000; Austin, 2002). El primero de ellos es un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie. Este modelo estima la probabilidad de ocurrencia de la especie buscando la distribución de máxima entropía (lo más uniforme posible) sujeta a la condición de que el valor esperado de cada variable ambiental según esta distribución coincida con su media empírica. Combina dos algoritmos: árboles de regresión que son modelos que relacionan una respuesta con su predicción a partir de rutas binarias; y el boosting, un método para combinar varios modelos simples con el fin de dar una mejor respuesta de predicción. El resultado del modelo expresa el valor de idoneidad del hábitat para la especie como una función de las variables ambientales. Un valor alto de la función de distribución en una celda determinada indica que se presentan condiciones muy favorables para la presencia de la especie.

Adicionalmente, Maxent puede utilizar variables cualitativas, otorgando a cada valor de la variable un peso relativo al número total de puntos de presencia que contiene. El programa proporciona las curvas de respuesta de la especie ante las distintas variables ambientales y estima la importancia de cada variable en la distribución de la especie (Benito de Pando et al., 2007).

Por último el Generalised Additive Models es una extensión semi-paramétrica del GLM. La única presunción es que las funciones son aditivas y los componentes son sutiles. Tiene la capacidad de manejar relaciones no lineales entre la respuesta y el conjunto de variables exploratorias.

## 4

# Análisis de impacto e incertidumbre

Los modelos cuyas predicciones sean informativas (Hijmans, 2012) se proyectan sobre los escenarios climáticos futuros. Los ensambles (compuestos de aproximadamente 2.400 proyecciones por cada especie) permitieron cuantificar los impactos, y de la misma manera las distintas incertidumbres derivadas.

1. estructura de modelos de nicho ecológico (MNE),
2. diferentes variables, y por tanto diferentes niveles de complejidad y parámetros de ajuste en dichos modelos.
3. cantidad de ruido (i.e. número de pseudo-ausencias usadas)
4. variabilidad paramétrica
5. criterios de selección y combinación de modelos
6. estructura de los modelos climáticos globales (MCG)
7. escenarios de emisiones

Las proyecciones probabilísticas de los MNEs se usaron para modelar los cambios en el rango de distribución de acuerdo a tasas de migración realistas para las especies evaluadas,

y de esta manera analizar los riesgos sobre estas especies y el potencial económico bajo escenarios futuros. Las proyecciones se usan para cuantificar las incertidumbres involucradas en la modelación, la robustez de las conclusiones y las fuentes de incertidumbre más importantes para el proceso de evaluación de impactos.

La definición de los criterios arriba mencionados se ha realizado con base en revisión extensiva de literatura y conocimiento de los modeladores. La modelación tipo ensamble es una técnica sólo empezada a usar recientemente para modelación de distribución de especies. El diseño conceptual, conocimiento requerido y la complejidad de la programación requerida para crear evaluaciones robustas de los impactos del cambio climático ha sido considerable.

## 5 Valoración Económica

El impacto del cambio climático sobre las especies de uso directo se mide como el valor de mercado del cambio potencial de la oferta del recurso (siendo el recurso cada una de las especies) que se analiza a través de la variable rendimiento potencial de la especie a nivel nacional. La oferta está en función de la probabilidad de presencia de cada una de las especies (valores que se hallaron en la sección anterior para cada uno los escenarios y los 24 modelos); cada uno de estos valores se asociará con un valor del *stock* del recurso por hectárea.

Este análisis se realiza para el total nacional y por departamento, considerando para este último el mismo valor de rendimiento y se asume que en el futuro este se mantendrá constante para cada una de las especies.

$$\Delta S_{e,EF} = \sum_{k=1}^{N_e} (H_e \alpha_{e,EF}^k - H_e \alpha_{e,LB}^k) \quad (1)$$

$\Delta S_{e,EF}$  Cambio en la oferta del recurso de la especie  $e$  en el escenario futuro  $EF$

$N_e$  Número de hectáreas donde está presente de la especie  $e$

$H_e$  Rendimiento de la especie  $e$

$\alpha_{e,LB}^k$  Probabilidad de presencia de la especie  $e$  para el escenario base en la hectárea  $k$

$\alpha_{e,EF}^k$  Probabilidad de presencia de la especie  $e$  para los periodos futuros ( $EF$ ) en la hectárea  $k$



Donde el valor económico del impacto del cambio climático sobre las especies de uso directo

$$VE_{e,EF} = \Delta S_{e,EF} P_e T_h \quad (2)$$

$VE_{e,EF}$  Valor económico del impacto del cambio climático de la especie  $e$  bajo escenario  $EF$

$P_e$  Precio actual de una unidad de la especie  $e$

$T_h$  Horizonte de tiempo evaluado

Dentro de los insumos necesarios para el cálculo de este valor, se encuentra el rendimiento potencial y el precio de cada una de las especies, los cuales se recolectaron de fuentes secundarias como trabajos de tesis, investigaciones de universidades y de información suministrada por personas expertas del sector (Tabla 3).

**Tabla 3.** Rendimiento y precio de las especies de uso directo

Nombre científico	Nombre común	Rendimiento (kg/ha/año)	Precio (pesos/kg)
<i>Borojoa atinói</i>	Borojó	3.125	3.000
<i>Bixa orellana</i>	Achiote	1.000	4.000
<i>Caesalpinia spinosa</i>	Dividivi	1.800	3.300
<i>Crescentia cujete</i>	Totumo	560	10.000
<i>Genipa americana</i>	Jagua	800	3.500
<i>Indigofera suffruticosa</i>	Añil	2.430	18.000
<i>Jacaranda caucana</i>	Gualanday	8.000	1.500
<i>Lippia alba</i>	Prontoalivio	5.000	7.000
<i>Minthostachys mollis</i>	Muña	1.351	3.000
<i>Myroxylon balsamun</i>	Bálsamo de Tolú	2.500	500
<i>Oenocarpus batava</i>	Seje	3.500	960
<i>Smilax mollis</i>		1.500	20.000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de diferentes fuentes de información.

Para el caso de las especies de uso indirecto, la oferta del recurso también es función de los resultados de probabilidad de presencia de la especie en un lugar determinado. Dado que las especies de uso directo representan un bien que no se comercializa, pero tiene efectos sobre otros bienes que si lo hacen, la oferta estará dada en términos de esa canasta de bienes comercializables que se encuentra representada por un vector, donde cada elemento del vector representa un bien comercializable. Se asociaron los diferentes valores de probabilidad al stock del vector de bienes comercializables por hectárea y a partir de dicho stock se estimó la oferta de ese vector por hectárea.

$$\Delta S_{m,EF} = \sum_{k=1}^{N_m} \sum_{i=1}^M (\alpha_{i,EF}^k - \alpha_{i,LB}^k) H_i P_i \quad (3)$$

$\Delta S_{m,EF}$  Cambio en la oferta del recurso de la especie manglar en el escenario **EF**

**M** Número de especies de manglar

$\alpha_{i,LB}^k$  Probabilidad de presencia de la especie de manglar **i** para el escenario base en la hectarea **k**

$\alpha_{i,EF}^k$  Probabilidad de presencia de la especie de manglar **i** para los periodos futuros (**EF**) en la hectarea **k**

**H<sub>i</sub>** Vector de tasa de oferta de bienes comercializables del tipo de manglar **i**

**P<sub>i</sub>** Vector de precios actuales de una unidad de cada elemento dentro de la canasta de bienes comercializables que produce la especie de manglar

El cálculo de la ecuación anterior se realiza para el año base y para los tres periodos futuros (2020-2049, 2040-2069, 2070-2099). Al igual que con las especies de uso directo, se calculará para el total nacional y por departamento; considerando para este último el mismo valor de rendimiento asumiendo que en el futuro este se mantendrá constante para cada una de las especies. En el caso de las especies de uso indirecto, sólo se tomaron en cuenta los valores de probabilidad de ocurrencia de la especie cerca a las costas. Se realizó un corte tomando una distancia de 1.5 km desde el borde, definiendo las zonas costeras.

$$VE_{m,EF} = \Delta S_{m,EF} T_h \quad (4)$$

**VE<sub>m,EF</sub>** Valor económico del impacto del cambio climático sobre especie manglar en escenario **EF**

Dentro de las especies de uso indirecto se encuentra *Xylocopa frontalis*, un insecto del orden hymenoptera que sirve de polinizador en el cultivo del maracuyá. Para el caso de la oferta del recurso, esta se definirá en función de los resultados de las probabilidades de presencia de la especie en conjunto con los resultados de probabilidad de presencia del cultivo de maracuyá. Se asociarán los diferentes valores de probabilidad al *stock* del bien comercializable por hectárea. Dado que la presencia de este polinizador está asociada a la presencia de bosques, se tomó un área de 1 km alrededor de los bosques. Igualmente se realizó un filtro de áreas por cultivos perennes, y se tomó como referencia un mapa de aptitud climática del cultivo de maracuyá (Ocampo et al., 2012).



$$\Delta S_{\bar{p},EF} = \sum_{k=1}^{N_{\bar{p}}} (H_{\bar{p}}\alpha_{\bar{p},LB}^k - H_{\bar{p}}\alpha_{\bar{p},EF}^k) \quad (5)$$

$\Delta S_{\bar{p},EF}$  Cambio en la oferta del recurso de la especie polinizador en el escenario **EF**

$$VE_{\bar{p},EF} = \Delta S_{\bar{p},EF} P_{\bar{p}} T_h \quad (6)$$

$VE_{\bar{p}}$  Valor económico del impacto del cambio climático sobre especie polinizador en escenario **EF**

$P_{\bar{p}}$  Precio actual de la unidad de la especie polinizador, en este caso el maracuyá.

**Tabla 4.** Rendimiento y precio de las especies de uso indirecto

Nombre científico	Nombre común	Bien comercializable	Rendimiento (kg/ha/año)	Precio (pesos/kg)
<i>Avicennia germinans</i>	Manglar	Peces	76	8.410
<i>Laguncularia racemosa</i>		Crustáceos	8,6	21.350
<i>Rhizophora mangle</i>		Moluscos	10,3	10.771
<i>Pellicera racemosa</i>				
<i>Xylocopa frontalis</i>	Polinizador	Maracuyá	16.000	3.000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de diferentes fuentes de información.

## 6

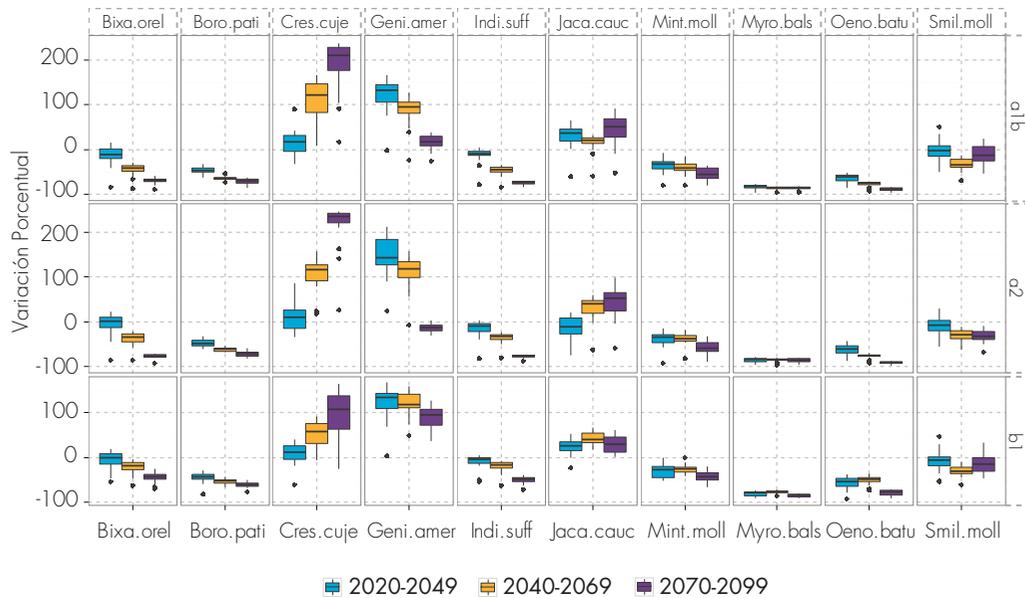
# Resultados del impacto del cambio climático en el sector

## 6.1. Especies de uso directo

El impacto del cambio climático sobre las especies de uso directo es variado (Figura 1). Para los diferentes escenarios A1B, A2 y B1, se observa que el totumo, jagua y gualanday son las especies más favorecidas con el cambio climático; se presenta un aumento en la

superficie de área con aptitud climática que implica un aumento en su valor económico. En el caso de totumo para los tres escenarios, se espera que el área de presencia de la especie tenga un incremento progresivo a través de los años logrando alcanzar hasta un 200% más para el periodo 2070-2099, con respecto a la línea base (Figura 1).

■ **Figura 1.** Variación Porcentual del Valor Económico bajo los escenarios A1B, A2 y B1 para las especies de uso directo, 2020-2099



Fuente: Elaboración propia

Esto se debe en gran parte al incremento de la precipitación que favorecería esta especie, específicamente en las regiones Amazónica y Orinoquía. En el caso de Jagua bajo los tres escenarios, también se espera un aumento, logrando un incremento del 100% para finales del periodo 2020-2049, pero disminuyendo hasta un 20% para el periodo 2070-2099. Para el caso de Gualanday se espera un incremento estable de alrededor del 40% durante todo el periodo; la variación de esta especie entre los periodos 2020-2049 y 2040-2069 se debe principalmente a temperatura, pero entre los periodos 2040-2069 y 2070-2099 el aumento de temperatura limita la aptitud climática de esta.

En términos generales, entre los periodos 2020-2049 y 2040-2069 se presentaría aumento en la precipitación que influiría positivamente en la biodiversidad; sin embargo la disminución para años posteriores hace que la variación en la superficie del área con aptitud climática disminuya un poco.

Se debe tener en cuenta que aunque se esperan amplias variaciones positivas de estas especies, también presentan la mayor variabilidad entre las especies presentes, lo que implica una mayor incertidumbre en cuanto a la posible presencia de la especie en años posteriores.



Los aumentos de aptitud climática para totumo, jagua, prontoalivio y gualanday se dan principalmente en los departamentos de Guainía, Vichada, Vaupés, Amazonas, Guaviare, Putumayo, Nariño y Chocó. Sin embargo, algunas pérdidas podrían ocurrir en algunas zonas de Guainía, Vichada y Caquetá.

Las especies más afectadas con el cambio climático son borjón, achiote, añil, muña y bálsamo de Tolú, donde las cuatro primeras presentan una pérdida de área apta a medida que avanza el tiempo, logrando registrar pérdidas de hasta del 80% para finales de el periodo 2070-2099 bajo los tres escenarios. Para el caso de bálsamo de Tolú, se presenta una pérdida mucho más constante y más severa a través de las décadas, situación que se repite bajo los tres escenarios de cambio climático.

Un balance general para todas las especies de uso directo muestra que las regiones más favorecidas serían la Orinoquía y Andina bajo los tres escenarios de cambio climático, en estas regiones se presentaría una aptitud climática más favorable, presentando los mayores cambios para el periodo 2040-2069. Dentro de estas regiones se encuentran especies como totumo, gualanday y jagua, los cuales aumentan su presencia en estas regiones y por tanto hace que aumente su valor económico. El caso de totumo se presenta en la figura 2.

En la Tabla 5 se presenta un resumen de las variaciones económicas para las especies de uso directo en los periodos estudiados bajo los escenarios A1B, A2 y B1 a nivel nacional. Los tres escenarios muestran un balance general positivo. No obstante el escenario B1 presenta un panorama más favorable para estas especies. En el caso del escenario A1B se presenta una situación más favorable para las décadas los periodos 2040-2069 y 2070-2099. Los resultados a nivel departamental se presentan en el anexo I.

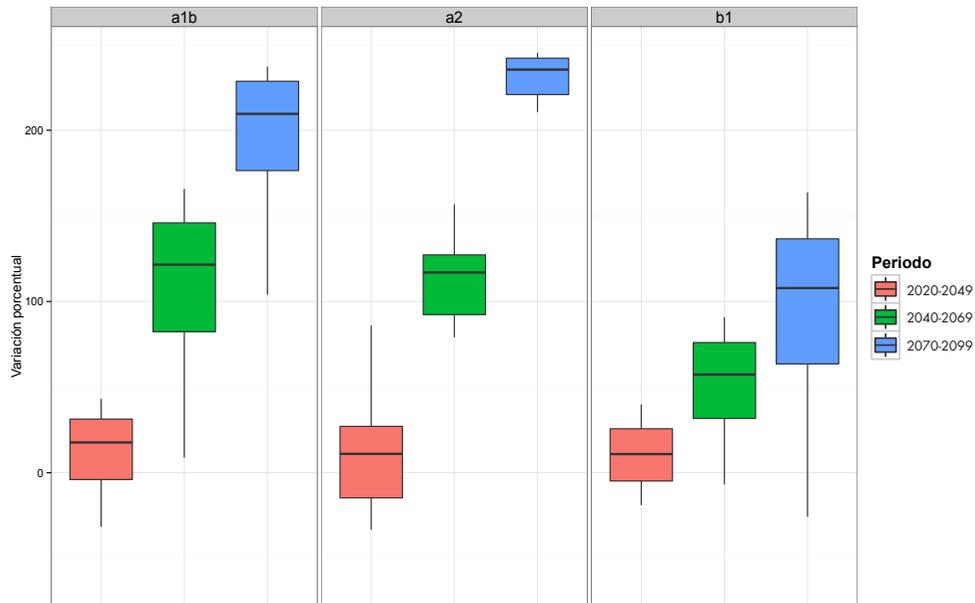
**Tabla 5.** Impacto del cambio climático sobre las especies de uso directo bajo los escenarios A1B, A2 y B1, 2020-2099

Nivel	Periodo	Escenarios	Variación respecto al presente		Variación en el valor económico
			Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	
Nacional	1950-2000	Presente	22,66	2344,92	
		A1B	1,25	26,90	18,1%
		A2	2,14	41,90	33,7%
	2020-2049	B1	2,78	56,36	47,6%
		A1B	1,19	19,32	53,6%
		A2	2,08	49,29	55,8%
	2040-2069	B1	3,25	83,51	60,0%
		A1B	0,94	18,82	52,2%
		A2	1,61	32,39	37,8%
	2070-2099	B1	1,88	56,74	44,7%

Fuente: Elaboración propia

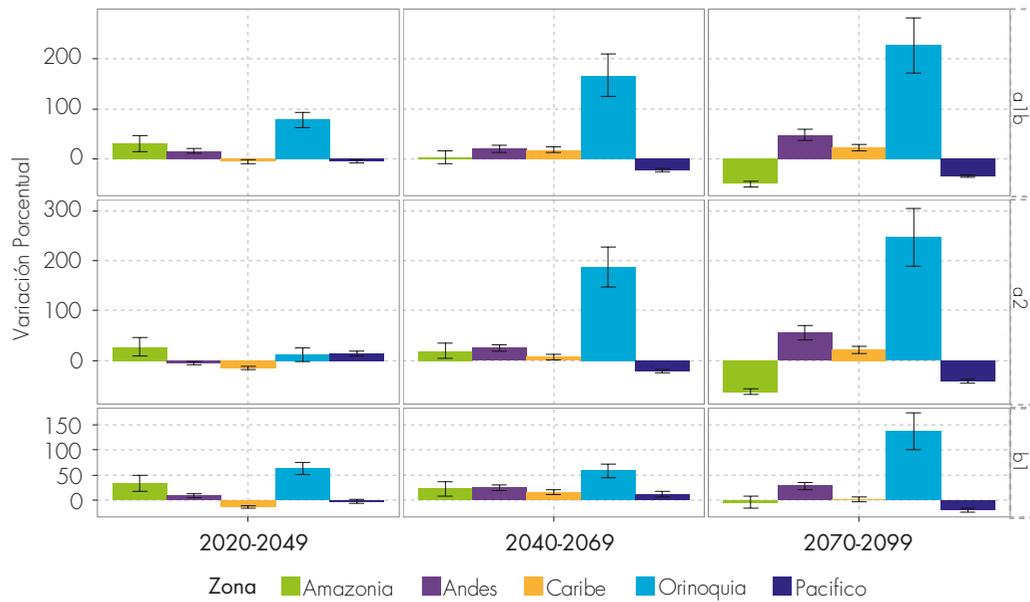
En términos generales las importaciones de la mayoría de estos productos superan las exportaciones, evidenciándose el poco desarrollo en la generación de productos a partir del uso sostenible de dichas plantas en Colombia. El potencial es enorme, y las condiciones generadas por el cambio climático favorecerían la extracción de este tipo de productos en Colombia.

**Figura 2.** Variación Porcentual del Valor Económico bajo los Escenarios A1B, A2 y B1 para la especie nativa gualanday, 2020-2099



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.** Variación Porcentual del Valor Económico por regiones bajo los escenarios A1B, A2 y B1 para las especies de uso directo, 2020-2099



Fuente: Elaboración propia



Específicamente, los colorantes en los se pueden incluir el dividivi, la jagua y el añil , además de otros de origen vegetal, en los últimos 10 años han presentado exportaciones por el orden de los 213.000 dólares e importaciones que suman 55.752.000 dólares (Trademap, 2013).

Por su parte, el achiote, ha registrado para los últimos 10 años, exportaciones por el orden de los 248.000 dólares. El crecimiento de las importaciones ha sido grande, en el 2008 se importaron 128.000 dólares mientras que en el año 2012 la importaron 530.000 dólares (Trademap, 2013).

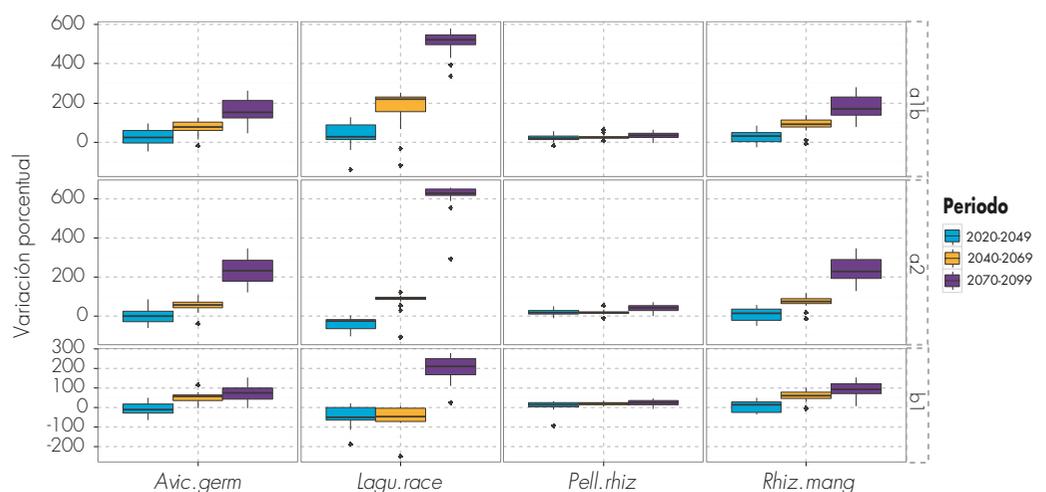
Evidenciando lo anterior, si la oferta de exportaciones creciera proporcional al aumento de la variación en la presencia de la especie, en el mejor de los casos se alcanzaría un beneficio anual de 125.000 dólares. No obstante el aprovechamiento de estas especies en Colombia es muy bajo, y el valor agregado es casi nulo. Por lo tanto, el potencial que existe en Colombia para estas especies es muy alto, dado los niveles alcanzados por las importaciones.

## 6.2. Especies de uso indirecto

Al igual que las especies de uso directo, los manglares ganarían áreas con aptitud climática para todos los escenarios y en todas las décadas evaluadas. La especie que mayor ganancia presenta bajo los tres escenarios es *Laguncularia racemosa*, seguida por *Rhizophora mangle*; en ambos casos, la superficie ganada puede llegar a alcanzar hasta 400% y 200% del área actual, respectivamente (Figura 4).

Los manglares son ecosistemas pantanosos, que se encuentran en litorales tropicales de suelo plano y fangoso, con temperaturas promedio de 30°C y patrones de precipitación uniformes. Están ubicados en la región Caribe y el litoral Pacífico, donde en la primera

■ **Figura 4.** Variación Porcentual del Valor Económico bajo los escenarios A1B, A2 y B1 para los cuatro tipos de manglar, 2020-2099

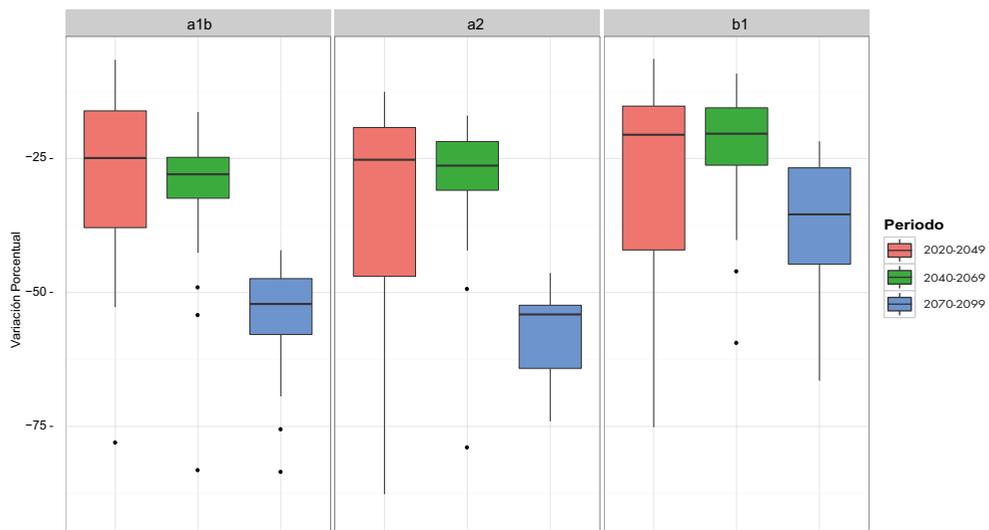


Fuente: Elaboración propia

región estos se verían favorecidos por las altas temperaturas actuales y proyectadas para la zona. La figura (Figura 6) muestra ganancias significativas de hasta 250%.

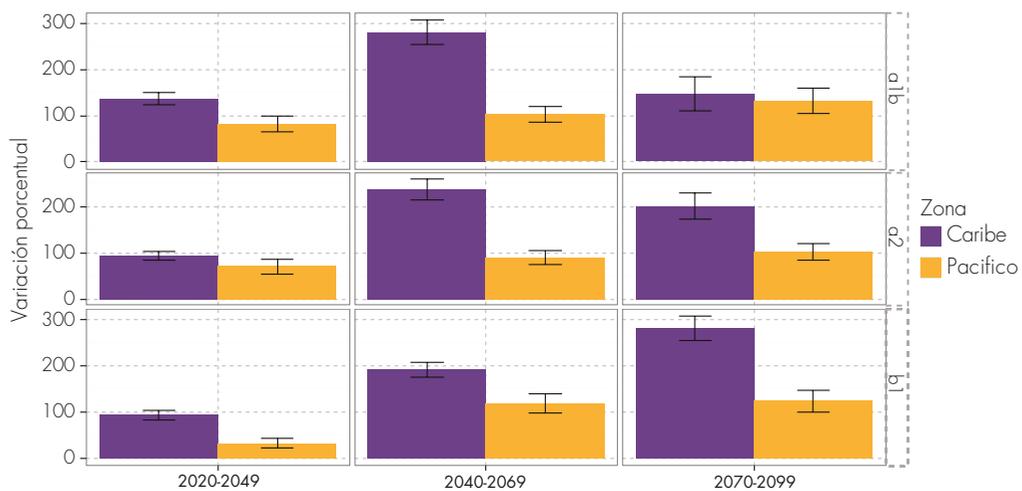
El caso del polinizador de frutales *Xylocopa frontalis*, (Figura 5), muestra que en la mayoría de los casos las condiciones de cambio climático favorecerían la especie. No obstante, es necesario aclarar que el valor económico de la polinización y del cambio en la distribución de la especie son valores muy bajos.

**Figura 5.** Variación Porcentual del Valor Económico bajo los escenarios A1B, A2 y B1 para la especie de uso indirecto *Xylocopa frontalis*, 2020-2099



Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.** Variación Porcentual del Valor Económico por regiones bajo los escenarios A1B, A2 y B1 para las especies de uso indirecto, 2020-2099



Fuente: Elaboración propia



En términos generales y de acuerdo a los resultados a nivel nacional (Tabla 6) para las especies de uso indirecto podemos observar que gracias a los aumentos en precipitación y temperatura se esperan incrementos significativos de alrededor del 50% en promedio para todas las especies evaluadas. Resultados a nivel departamental, se presentan en el anexo II.

**Tabla 6.** Impacto del cambio climático sobre las especies de uso indirecto, bajos los escenarios A1B, A2 y B1, 2020-2099

Nivel	Periodos	Escenarios	Variación respecto al presente (1950-2000)		Variación en el valor económico
			Temperatura (C )	Precipitación (mm)	
Nacional	1950-2000	Presente	24,33	2.560,15	
	2020-2049	A1B	1,18	10,28	55,09%
		A2	1,95	20,14	53,90%
		B1	2,56	18,86	53,07%
	2040-2069	A1B	1,13	9,70	56,49%
		A2	1,90	18,91	54,99%
		B1	2,99	25,08	52,25%
	2070-2099	A1B	0,91	2,89	58,86%
		A2	1,48	14,72	61,96%
		B1	1,76	30,28	55,87%

Fuente: Elaboración propia

## 7 Medidas de adaptación al cambio climático

El aumento de la aptitud climática de algunas especies de biocomercio puede ser visto como una oportunidad pero a su vez como una amenaza. Una oportunidad porque las tasas de extracción de los productos podrían aumentar y lograría existir extracción de estas especies en áreas donde se incrementa la probabilidad de presencia de la especie. Por ejemplo en el caso de Prontoalivio, la probabilidad de presencia aumenta para la zona norte de Antioquia y sur de Bolívar.

Una primera medida es la de generar protocolos de uso y manejo sostenible de estas especies de biocomercio, y para los casos en los cuales existe, se debe revisar en el futuro. Estos protocolos deben estar acordes a la nueva oferta ambiental para las especies. A 2030 es necesario revisar los protocolos de uso de totumo, jagua, gualanday y prontoalivio.

Una segunda medida es la referente al fortalecimiento de mercados para estas especies. Las gobernaciones y alcaldías de la región Pacífico, Amazónica y Orinoquía deberían fortalecer los estudios de mercado de estas especies, apoyar en la búsqueda de mercados más especializados e impulsar programas y proyectos de mejoramiento del producto que

den valor agregado. Estas mismas instituciones deberían participar en los procesos de comunicación, difusión y publicidad como estrategias de mercado de estos productos con marcas con denominación de origen. Es importante que estas iniciativas estén incluidas en los planes de desarrollo de las Alcaldías y de las Gobernaciones. Las universidades, cámaras de comercio y las Corporaciones Autónomas Regionales son socios importantes a considerar en el logro de este objetivo.

Los planes de manejo de estas especies con comunidades locales permiten hacer un aprovechamiento más sostenible de estas especies. Los planes de negocio permiten definir mercados potenciales. La agregación de valor permite diferenciar los productos, y lograr mejores precios, y acceder a mercados más específicos. El mejoramiento tecnológico de productos permite lograr mayor competitividad en el producto.

No obstante, este aumento de aptitud climática para las especies de biocomercio puede ser visto como una amenaza para otras especies. En la medida que estas colonicen nuevas zonas, o se incremente se densidad de población, otras especies pueden ser desplazadas de sus hábitats. Esto puede ser particularmente preocupante para otras especies nativas amenazadas y cuya probabilidad de presencia disminuya. Los departamentos de Caquetá, Meta, Guaviare, Vichada y Guainía deberían ser de particular atención en el futuro, ya que las especies de biocomercio ganarían aptitud climática en estas zonas, y por lo tanto pueden desplazar especies nativas que estén en peligro de extinción en estas regiones.

## 8

## Recomendaciones de Política

Es necesario fortalecer la investigación en Biodiversidad. En este sentido el Instituto Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico y el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI deberían contar con mayores recursos para desarrollar dicha tarea; los productos de biocomercio deberían ser una línea de investigación consolidada en estas instituciones. No obstante, la poca investigación que se desarrolla en el país se realiza de forma desarticulada y sin una orientación hacia el aprovechamiento del recurso.

El área de biocomercio sostenible debe ser fortalecida también dentro del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y en las Corporaciones Autónomas Regionales. Este fortalecimiento se debe dar a través de la creación de líneas de investigación y desarrollo de alternativas de biocomercio sostenible que consideren planes de manejo, planes de negocio, agregación de valor, mejoramiento tecnológico de productos y estudios de mercado.

Una segunda recomendación es que se generen los protocolos de uso y manejo sostenible para todas estas especies de biocomercio, con el fin garantizar un uso racional del recurso. Igualmente importante es garantizar que dichos protocolos se actualicen al menos cada dos décadas con el fin de capturar los efectos del cambio climático sobre la distribución y producción de las diferentes especies. En especial para totumo, jagua, gualanday y prontoalivio que podrían tener una mayor dinámica de cambio en sus poblaciones en las próximas décadas.



Para las regiones más favorecidas como la Andina y Orinoquía, se deben definir políticas y planes de acción a mediano y largo plazo que promuevan el desarrollo de alternativas productivas sostenibles a partir del incremento de la oferta gracias cambio climático.

## 9

## Conclusiones

En este documento se analiza el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad en Colombia, enfocándose en 17 especies entre uso directo e indirecto, explorando cuales de ellas se verán favorecidas o no con el cambio climático. Igualmente el documento aborda el análisis a nivel regional, por lo tanto se identifican los departamentos donde las especies serían más favorecidas o no por el cambio climático.

El análisis muestra que las especies de bio-comercio se ven favorecidas por el cambio climático, especialmente especies como totumo, jagua, gualanday y prontoalivio de uso directo y *Laguncularia racemosa*, como especie de uso indirecto. En el caso de especies de uso, los resultados evidencian el gran potencial que existe en el país para aprovechar de forma sostenible y comercializar dichas especies. Las regiones más favorecidas son Andina y Orinoquía y dentro de éstas sobresalen los departamentos de Guainía, Vichada, Vaupés, y Guaviare.

Finalmente, se evidencia un aumento progresivo después de pasar la década 2030. En cuanto a especies, se observa una mayor predominancia de la especie en departamentos que ya cuentan con una alta probabilidad de presencia en la actualidad. De la misma manera, se observan especies que aumentan la probabilidad de presencia en departamentos donde la probabilidad actual es muy baja. Esto último es particularmente evidente para especies como prontoalivio, gualanday y borojó.

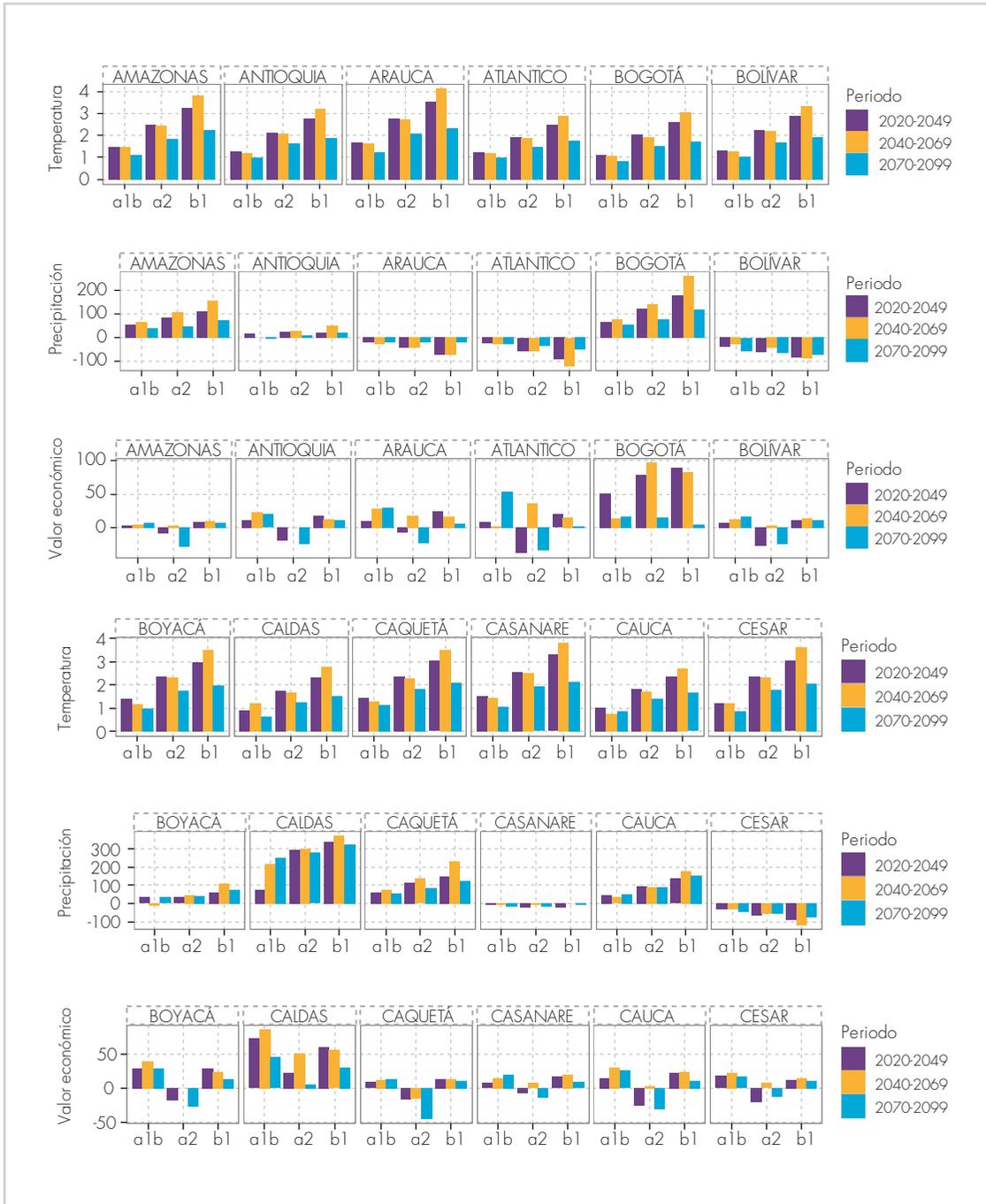
## Bibliografía

- Alonso, A., Dal Meier, F. Granek, E. y Raven, P. 2001. Biodiversity – Connecting with the Tapestry of Life. Washington DC, Smithsonian Institution/Monitoring and Assessment of Biodiversity Program and President's Committee of Advisors on Science and Technology.
- Araújo, M.B. y Luoto, M. 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16:743–753.
- Araújo, M.B. y New, M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22:42-47
- Austin, M.P. 2002. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157(2-3): 101-118.
- Benito de Pando, B. y Penas de Giles, J. 2007. Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la Península Ibérica”, *GeoFocus*. no 7, p. 100-119, ISSN: 1578-5157
- BID-CEPAL-DNP. 2014. Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia - Síntesis. S. Calderón, G. Romero, A. Ordóñez, A. Álvarez, C. Ludeña, L. Sánchez, C. de Miguel, K. Martínez y M. Pereira (editores). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 221 y Naciones Unidas, LC/L.3851, Washington D.C.
- Buisson, L., Thuiller, W., Casajus, N., Lek, S. y Grenouillet, G. 2010. Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. *Global Change Biology* 16: 1145-1157.
- Campbell A., Kapos V., Chenery A., Kahn, S.I., Rashid M., Scharlemann J.P.W., Dickson B. 2009. The linkages between biodiversity and climate change adaptation. UNEP World Conservation Monitoring Centre.
- Cárdenas, D., Marín C., Suárez L., Guerrero A., y P. Nofuya. 2002. Plantas Útiles en dos Comunidades del Departamento de Putumayo. Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Colciencias, Bogotá. 149 p.
- Cárdenas, L., C. Marín., L. Suárez., A. Guerrero y P. Nofuya. 2003. Plantas útiles de Lagarto Cocha y Serranía de Churumbelo en el departamento de Putumayo. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI). Bogotá, Colombia. 40 pp
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe-CEPAL. 2013. Panorama del cambio climático en Colombia. Medio Ambiente y Desarrollo.
- Coudun, C. y Gegout, J.C. 2007. Quantitative prediction of the distribution and abundance of *Vaccinium myrtillus* with climatic and edaphic factors. *Journal of Vegetation Science*, 18, 517–524.
- Duque, A. 2002. Encuesta nacional de plantas medicinales y aromáticas: una aproximación al mercado de las PMyA en Colombia. *Biocomercio Sostenible*. IAvH. 59
- Elith, J., Leathwick, J.R. y Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77(4): 802-813.
- Feng, X., Porporato, A., y Rodríguez-Iturbe, I. 2013. Changes in rainfall seasonality in the tropics. *Nature Clim. Change*, 10.1038/nclimate1907.
- Forero, E. 1985. Estado actual de la investigación y la docencia en Botánica en Colombia. Memoria de la Reunión de Botánicos de los Países Miembros del Convenio Andrés Bello. *Serie Ciencia y Tecnología*, 6, 24-41.
- GlobCover Land Cover v2 2008 database. European Space Agency, European Space Agency GlobCover Project, led by MEDIAS-France. 2008. <http://ionia1.esrin.esa.int/index.asp>
- Gomez J.A, Ortega S.C. 2007. Biocomercio sostenible. Biodiversidad y desarrollo en Colombia. IAvH. I/M Editores. Bogotá. Colombia
- González, D.V. 2003. Los productos naturales no maderables (PNNM): Estado del arte de la investigación y otros aspectos. *Biocomercio sostenible*, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- Guisan, A. y N.E. Zimmermann. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135:147-186.
- Guisan, A., Weiss, S.B., Weiss, A.D., 1999. GIM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology*. 143, 107–122
- Heikkinen, R.K., Luoto, M., Virkkala, R., Pearson, R.G. y Korber, J.H. 2007. Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. *Global Ecology and Biogeography*, 16:754–763.
- Hijmans, R.J. 2012. Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. *Ecology* 93(3):679-688.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., y Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978.

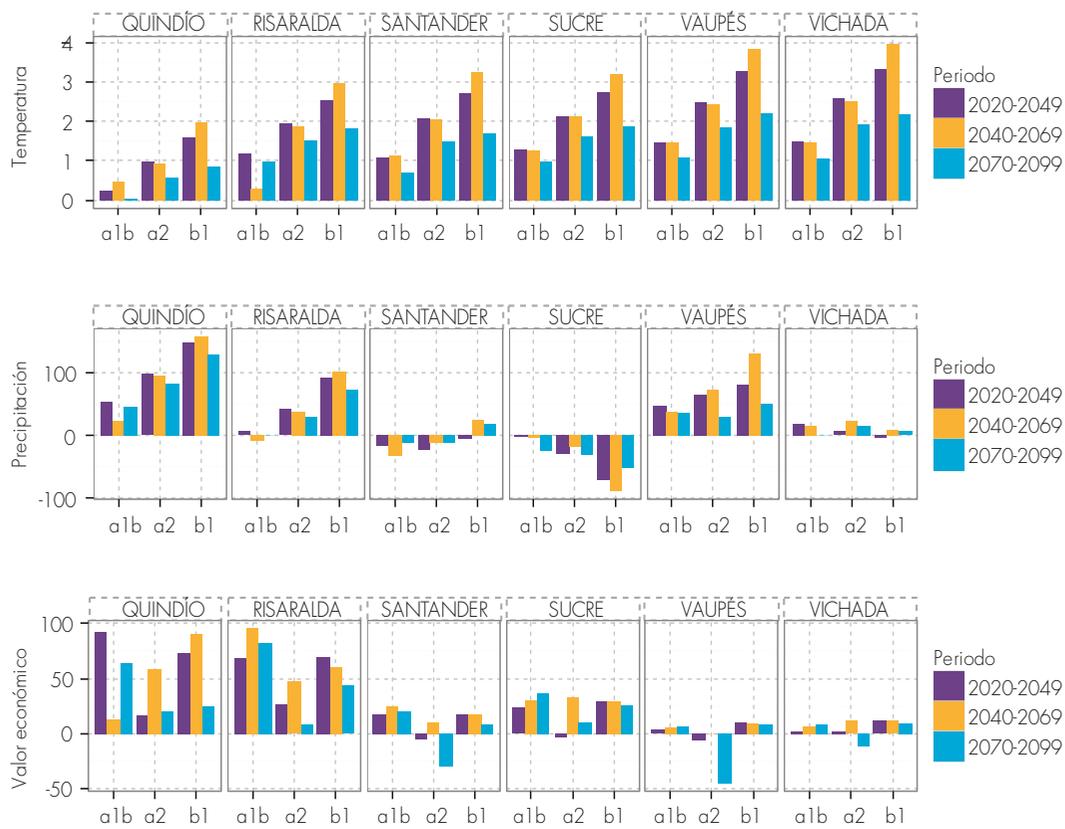


- IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) (IPCC, Geneva, Switzerland).
- Jarvis, A. 2005. Terrain Controls on the distribution of tree species diversity and structure in tropical lowland and tropical montane forest. Tesis Doctoral. Departamento de geografía. King's College London.
- Klinger, W., Pinzón, C.A., Pachón, M.E., Rojas, L.F. y Aragón, J.C. 2000. Estudio de las especies promisorias productoras de colorantes en el trapecio amazónico. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 166 p.
- Luoto M., Virkkala R., Heikkinen R.K. 2007. The role of land cover in bioclimatic models depends on spatial resolution. *Global Ecology Biogeography* 16:34-42
- Luoto, M. y Heikkinen, R.K. 2008. Disregarding Topographical Heterogeneity Biases Species Turnover Assessments Based on Bioclimatic Models. *Global Change Biology*, 14, 483-494.
- Maiorano, L., Falcucci, A., Zimmermann, N. E., Psoomas, A., Pottier, J., Baisero, D., Rondinini, C., Guisan, A. y Boitani, L. 2011. The future of terrestrial mammals in the Mediterranean basin under climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1578): 2681-2692.
- Millenium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. Ecosystems and Human Well-being. Vol 4. Island Press.
- Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2009. La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE). Bogotá, Colombia.
- Ocampo, J., Posada, P., Medina, Y. y Jarvis, A. 2012. Zonificación agroecológica y efecto del cambio climático en el cultivo de maracuyá en Colombia. CIAT-Universidad Nacional de Colombia.
- Pearson, R.G., y Dawson, T.P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12 (5), 361-371.
- Pearson, R.G., Dawson, T.P. y Liu, C. 2004. Modelling species distributions in Britain: a hierarchical integration of climate and land-cover data. *Ecography*, 27:285-298.
- Pedraza, C.A. y Zea, E. 2010. Efectos potenciales del cambio climático en la distribución de aves con algún grado de amenaza en Colombia. Instituto Alexander von Humboldt.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. y Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4): 231-259.
- Ramirez-Villegas, J. y Jarvis, A. 2010. Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method. Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1. in Decision and Policy Analysis Working Papers (International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia).
- Ramirez-Villegas, J., Khoury, C., Jarvis, A., Deboucq, D.G., y Guarino, L. 2010. A Gap Analysis Methodology for Collecting Crop GenePools: A Case Study with Phaseolus Beans. *PLoS ONE* 5(10):e13497.
- Thuiller, W.; B. Lafourcade; R. Engler y M. B. Araújo. 2009. BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* 32: 369-373.
- Titeux, N., Maes, D., Marmion, M., Luoto, M., y Heikkinen, R.K. 2009. Inclusion of soil data improves the performance of bioclimatic envelope models for insect species distributions in temperate Europe. *Journal of Biogeography* 36(8):1459-1473.
- Universidad Jorge Tadeo Lozano. 2009. Grupo de Investigación Redes Agro-empresariales y Territorio -RAET. 2009. La cadena de valor de los ingredientes naturales del biocomercio para las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética. Informe de consultoría para el Fondo BIOCOMERCIO: Grupo consultor Universidad Jorge Tadeo Lozano. 187p.
- Urban, D.L., Miller, C., Halpin, P.N. y Stephenson, N.L. 2000. Forest gradient response in Sierran landscapes: the physical template. *Landscape Ecology*, 15, 603-620
- Urbina-Cardona, J. N., y Fernando Castro 2010. "Distribución actual y futura de anfibios y reptiles con potencial invasor en Colombia: una aproximación usando modelos de Nicho Ecológico." Biodiversidad y Cambio Climático. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana: 65-72.
- Warren, D.L., Seifert, S.N. 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications* 21 (2), 335-342.
- Wilson, E. O. 1992. *The Diversity of Life*, W.W. Norton & Co, New York.

## Anexo I: Impacto del cambio climático sobre las especies de uso directo por departamentos bajo los escenarios A1B, A2 y B1, 2020-2099



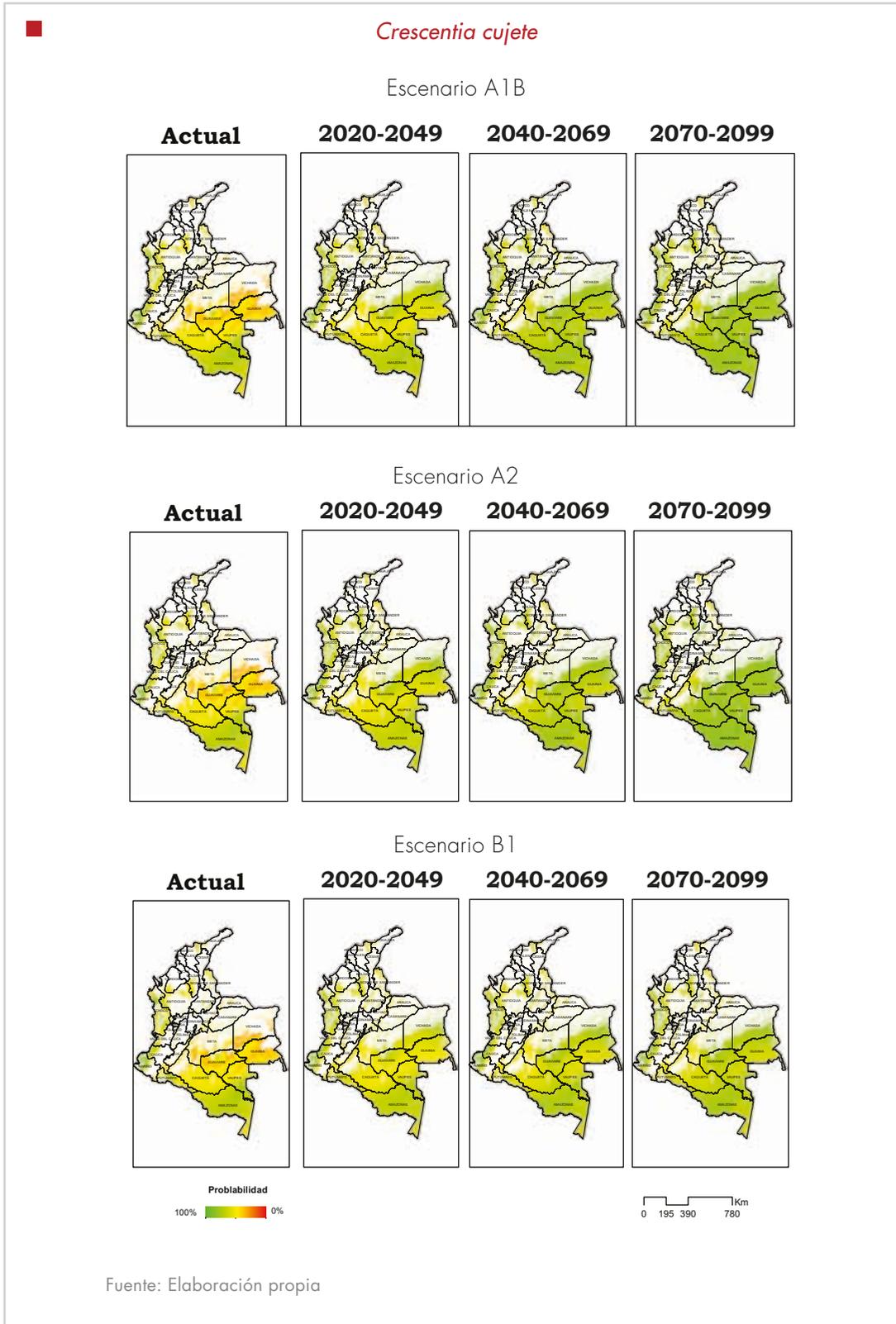




Fuente: Elaboración propia

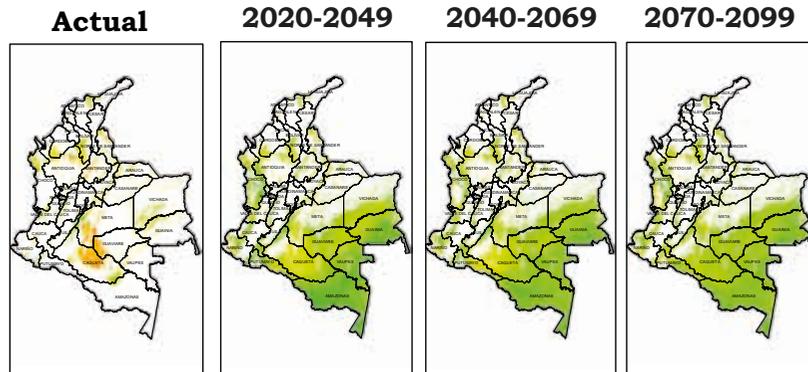


## Anexo II: Probabilidades de ocurrencia de las especies de uso directo *Crescentia cujete* y *Jacaranda caucana* bajo los escenarios A1B, A2 y B1, 2020-2099

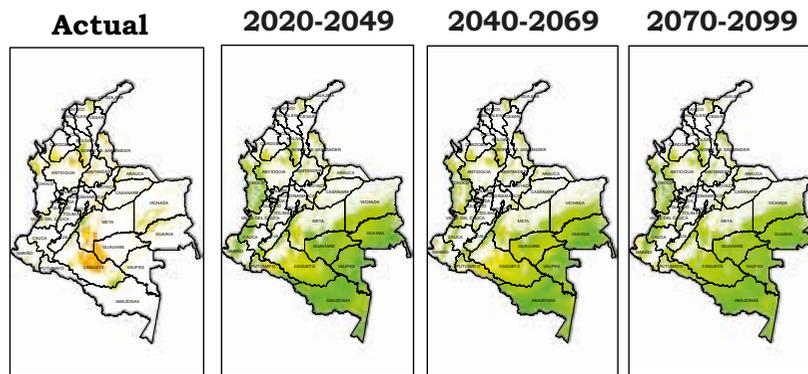


*Jacaranda caucana*

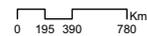
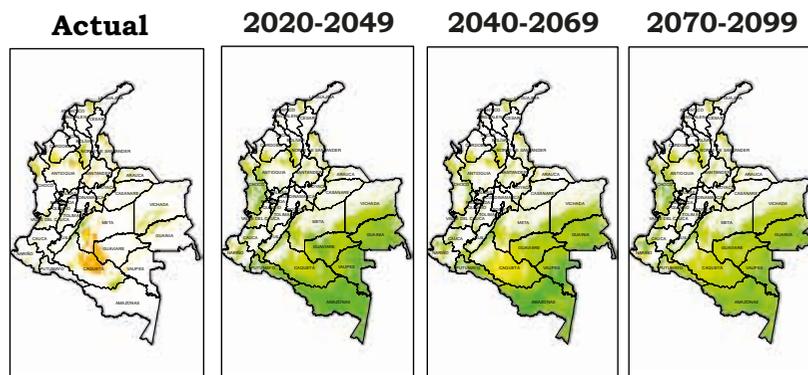
Escenario A1B



Escenario A2



Escenario B1

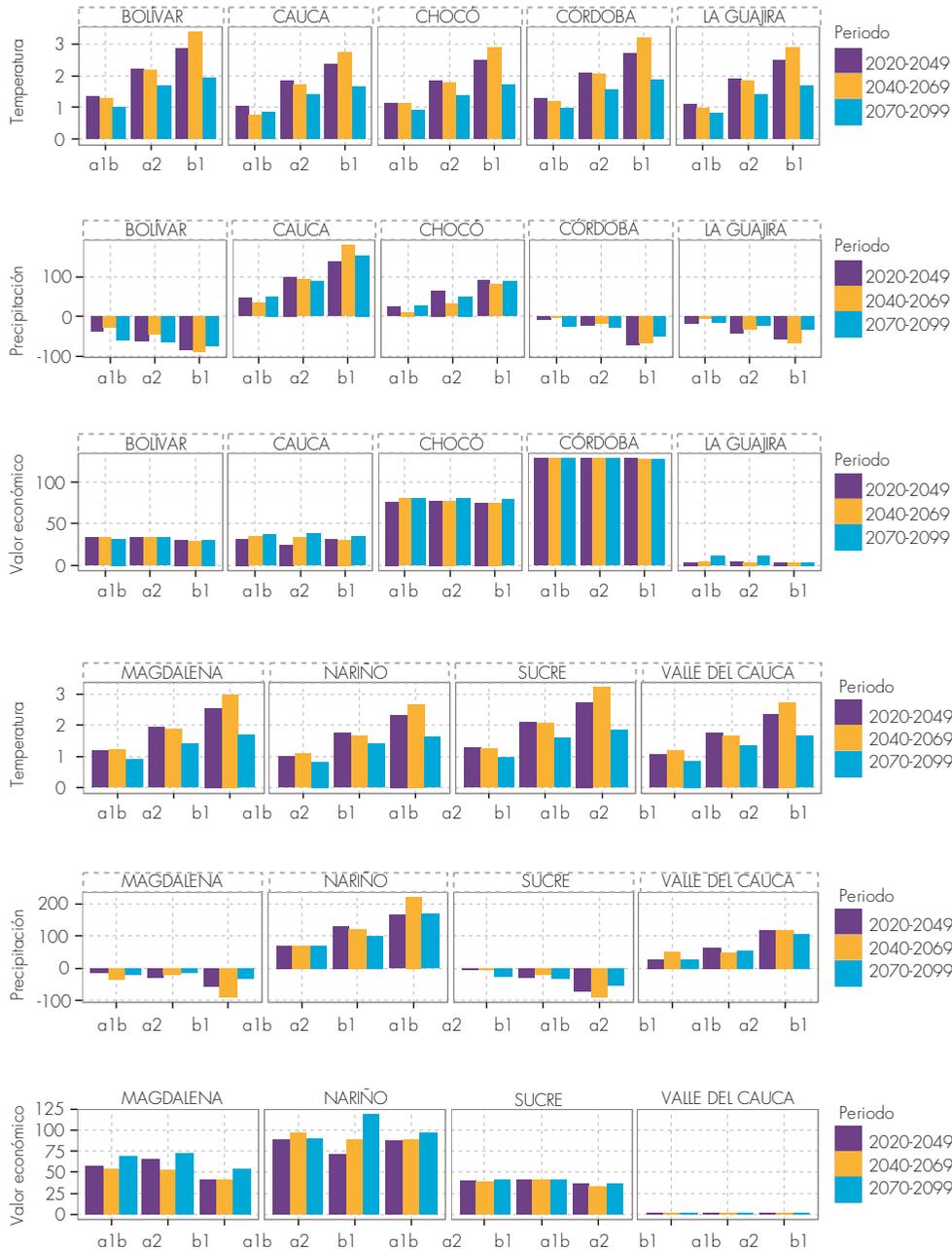


Fuente: Elaboración propia



### ESPECIES DE USO INDIRECTO

Impacto del cambio climático sobre las especies de uso indirecto por departamento bajo los escenarios A1B, A2 y B1, 2020-2099.



Fuente: Elaboración propia

Para descargar todos los mapas de las probabilidades de ocurrencia de las especies se puede acceder a este link. <ftp://gisweb.ciat.cgjar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/DNP/mapasAnálisis/Manglar/actual-future/>





# IMPACTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

## ESPECIES NATIVAS Y BIOCOCOMERCIO

### Publicaciones relacionadas:

- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Síntesis
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Transporte
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Ganadero
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Pesquero
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Sector Forestal
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Recurso Hídrico
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Costos Económicos de los Eventos Extremos
- Impactos Económicos del Cambio Climático en Colombia: Análisis Costo-Beneficio de Medidas de Adaptación



**DNP** Departamento  
Nacional  
de Planeación

